


НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Ігоря Сікорського»

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ
АПАРАТУРИ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
 О.М. Лисенко
(підпис) (ініціали, прізвище)

«15» 06 2020 р.

Дипломний проект



на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 172 “Телекомунікації та радіотехніка”
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)


на тему Безпроводовий охоронний комплекс

Виконав: студент IV курсу, групи ДК-62
Кужильний Олег Вадимович
(прізвище, ім'я, по батькові)


Керівник доц., к.т.н. А.Ю. Варфоломєєв
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

(підпис)

Рецензент б.о. зав. каф. МЕ, к.т.н., пр.фр. Орлов. А.Т.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент 
(підпис)

Київ - 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»**

Факультет електроніки


Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 “Телекомунікації та радіотехніка”
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри



(підпис)

О.М. Лисенко
(прізвище ініціали)

«17» лютого 2020р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Кужильному Олегу Вадимовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Безпроводовий охоронний комплекс
керівник проекту Варфоломєєв Антон Юрійович
затверджені наказом по університету від 25.05.2020 року №1196-с
2. Термін подання студентом проекту 10 червня 2020 року
3. Вихідні дані до проекту Пристрій складається з двох друкованих плат, з'єднаних гнучким шлейфом. Кліматичне виконання УХЛ2 за стандартом ГОСТ 15150-69. Може бути використаний як пристрій, що сповіщає про наявність руху у приміщенні шляхом встановлення з'єднання з віддаленим сервером. Габаритні розміри плати модуля безпроводового зв'язку не більше ніж 85 мм х 35 мм х 1.5 мм. Габаритні розміри плати детектування руху не більше ніж 35 мм х 35 мм х 15 мм. Час напрацювання на відмову складає не

менше 50 тисяч годин. Пристрій підключається до зовнішнього джерела живлення та має режим резервного живлення від акумулятора.

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- аналіз технічного завдання на проєктування;
- огляд існуючих охоронних IoT комплексів, патентний пошук;
- розробка блок-схеми розроблюваного пристрою;
- проєктування та розрахунок схеми електричної принципової;
- проєктування друкованої плати;
- конструкторсько-технологічні розрахунки, що підтверджують правильність обраних технічних рішень;
- проєктування програмного забезпечення;
- висновки до дипломного проекту.

4. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо):

- дві схеми електричні принципові – А3;
- дві друковані плати – А1;
- два складальних креслень друкованої плати – А1.

5. Дата видачі завдання 23 лютого 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проекту | Термін виконання етапів проекту | Примітка |
|-------|---|---------------------------------|----------|
| 1 | Аналіз ТЗ | 20.03.20 – 25.03.20 | виконано |
| 2 | Схемотехнічне проектування | 25.04.20 – 09.04.20 | виконано |
| 3 | Вибір елементної бази | 09.04.20 – 15.04.20 | виконано |
| 4 | Розробка креслень схеми електричної принципової | 15.04.20 – 01.05.20 | виконано |
| 5 | Конструкторсько-технологічні розрахунки | 01.05.20 – 07.05.20 | виконано |
| 6 | Електричний розрахунок ДП | 07.05.20 – 09.05.20 | виконано |
| 7 | Розрахунок віброміцності ДП | 09.05.20 – 12.05.20 | виконано |
| 8 | Проектування ДП у Altium Designer | 12.05.20 – 22.05.20 | виконано |
| 9 | Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла | 22.05.20 – 02.06.20 | виконано |
| 10 | Оформлення пояснювальної записки | 02.06.20 – 11.06.20 | виконано |

Студент О.Кужильний
(підпис)

О.В Кужильний
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту А.Ю. Варфоломєєв
(підпис)

А.Ю. Варфоломєєв
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Роботу викладено на 104 сторінках, вона містить 5 розділів, 12 ілюстрації, 12 таблиць та 20 джерел у переліку посилань.

Метою даної роботи є розробка охоронного пристрою, що позиціонується як система, що є максимально простою в установці та при цьому за максимально низькою собівартістю та високим рівнем надійності.

У ході виконання дипломного проекту використано методи конструювання та проєктування, що вивчено за програмою підготовки бакалавра. Проведено аналіз існуючих систем подібного класу, порівняння архітектур та інженерних підходів. Наведено недоліки та переваги цих систем. Запропоновано структурну блок-схему роботи пристрою. За даною блок-схемою виконано проєктування, розрахунок та моделювання схеми електричної принципової. Виконано проєктування друкованого вузла у САПР Altium Designer та проведено конструкторсько-технологічні розрахунки, що підтверджують правильність обраних інженерних рішень. Для функціонування пристрою розроблено програмне забезпечення.

За темою дипломного проекту підготовлено публікацію до Збірника наукових праць “Проблеми інформатизації та управління” та до фахового видання “Вісник Інженерної Академії України”.

Ключові слова: IoT, HTTPS, TCP/IP, Telegram, охорона, детектування руху, протокол.

ABSTRACT

The work is presented on 104 pages, it contains 5 sections, 12 illustrations, 12 tables, and 20 sources in the list of references.

The purpose of this work is to develop a security system that is positioned as a system that is as easy to install, with low-cost as possible and a high level of reliability.

In the course of the diploma project, the methods of construction and design were used, which was studied according to the bachelor degree program. The analysis of existing systems of a similar class was completed. Also, the comparison of the used architectures and engineering approaches were carried out.

The advantages and disadvantages of these systems are given. A structural block diagram of the device was proposed. According to this block diagram, the design, calculations, and modeling of the electrical circuit diagram were performed. The design of the PCB was implemented using CAD Altium Designer. The design and technological calculations were calculated which confirm the correctness of the selected engineering solutions. The software has been developed for the operation of the device.

A publication on the topic of the diploma project was prepared for the Collection of Scientific Papers “Problems of Informatization and Management” and for the Professional Publication “BULLETIN OF ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE”.

Keywords: IoT, HTTPS, TCP/IP, Telegram, security, motion detection, protocol.

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: **Безпроводовий охоронний комплекс**

Київ – 2020 року

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Перелік скорочень, умовних позначень, термінів | 5 |
| ВСТУП | 6 |
| 1 ДОСЛІДЖЕННЯ АКТУАЛЬНОСТІ, ПЕРЕВАГ ТА КОНКУРЕНТНОСПРОМОЖНОСТІ ІСНУЮЧИХ ОХОРОННИХ СИСТЕМ | 8 |
| 1.1 Порівняння існуючих методів сигналізування події сучасних охоронних систем..... | 8 |
| 1.2 Аналіз існуючих систем охорони, що використовують підключення до мережі Інтернет для сигналізування події. Патентний пошук..... | 12 |
| 1.3 Аналіз IoT архітектури протоколів на яких вона побудована..... | 17 |
| Висновок до розділу | 22 |
| 2 СХЕМОТЕЧНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ | 24 |
| 2.1 Розробка структурної схеми та опис принципу роботи пристрою | 24 |
| 2.2 Вибір та обґрунтування елементної бази основної плати | 27 |
| 2.2.1 Вибір обчислювального засобу | 27 |
| 2.2.2 Вибір мікроконтролера та обґрунтування схеми з його застосуванням..... | 29 |
| 2.2.3 Вибір модуля зв'язку | 31 |
| 2.2.4 Вибір акумулятора для резервного живлення | 33 |
| 2.2.5 Вибір та обґрунтування компонентів схеми заряджання акумулятора | 34 |

| | | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|-------------|---|--|-------------|----------------|
| | | | | | <i>ДК62.466451.001 ПЗ</i> | | | |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | | | |
| <i>Розробив</i> | <i>О.В. Кужильний</i> | <i>О.В. Кужильний</i> | | | <i>Безпроводний охоронний комплекс Пояснювальна записка</i> | <i>Літ.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Аркцшів</i> |
| <i>Перевірив</i> | <i>А.Ю. Варфоломєєв</i> | <i>А.Ю. Варфоломєєв</i> | | | | | <i>1</i> | <i>104</i> |
| <i>Реценз.</i> | | | | | | <i>КПІ ім. Ігоря Сікарського, ФЕЛ, КЕОА, ДК-62</i> | | |
| <i>Н. Контр.</i> | <i>В.Г. Гудар</i> | <i>В.Г. Гудар</i> | | | | | | |
| <i>Затвердив</i> | <i>А.Ю. Варфоломєєв</i> | <i>А.Ю. Варфоломєєв</i> | | | | | | |

| | |
|--|----|
| 2.2.6 Вибір та обґрунтування компонент для схеми переключення режимів живлення..... | 37 |
| 2.2.7 Вибір та розрахунок мікросхеми стабілізатора напруги для живлення GSM модуля | 39 |
| 2.2.8 Розрахунок кола живлення МК та опорних напруг | 43 |
| 2.2.9 Вибір резисторів..... | 45 |
| 2.2.10 Вибір конденсаторів | 46 |
| 2.2.11 Вибір та обґрунтування компонентів для узгодження логічних рівнів..... | 46 |
| 2.3 Розробка схеми детектування руху | 47 |
| 2.3.1 Розробка блок-схеми детектування руху..... | 49 |
| 2.3.2 Проектування полосового фільтру..... | 51 |
| 2.3.3 Проектування віконного компаратору..... | 55 |
| 2.3.4 Вибір компонентів схеми детектування руху | 57 |
| Висновки до розділу | 58 |
| 3 ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА..... | 60 |
| 3.1 Вибір типу та матеріалу друкованої плати..... | 60 |
| 3.2 Вибір класу точності друкованої плати | 61 |
| 3.3 Вибір методу виготовлення друкованої плати..... | 62 |
| 3.4 Розташування компонентів та трасування друкованої плати | 62 |
| 3.5 Вибір розмірів друкованої плати..... | 64 |
| Висновки до розділу | 65 |
| 4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКОГО РІШЕННЯ..... | 67 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.1 | Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДМ | 67 |
| 4.1.1 | Розрахунок мінімальної ширини друкованого провідника за постійним струмом для живлення..... | 67 |
| 4.1.2 | Розрахунок мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому | 69 |
| 4.1.3 | Розрахунок номінального діаметру монтажного отвору | 70 |
| 4.1.4 | Розрахунок максимального та мінімального діаметрів контактної майданчика..... | 71 |
| 4.1.5 | Розрахунок мінімальної та максимальної ширини провідника | 72 |
| 4.1.6 | Розрахунок мінімальної відстані між провідником та контактним майданчиком..... | 73 |
| 4.1.7 | Розрахунок мінімальної відстані між краями двох сусідніх провідників..... | 74 |
| 4.2 | Електричний розрахунок друкованої плати | 74 |
| 4.2.1 | Визначення падіння напруги на найдовшому провіднику | 74 |
| 4.2.2 | Розрахунок потужності діелектричних втрат друкованої плати .. | 75 |
| 4.2.3 | Розрахунок ємності між двома сусідніми провідниками, що мають однакову ширину та розташовані на одній стороні ДП..... | 77 |
| 4.2.4 | Розрахунок взаємної індуктивності двох паралельних друкованих провідників однакової довжини | 78 |
| 4.3 | Розрахунок надійності розроблюваного пристрою | 78 |
| 4.4 | Розрахунок рівня віброміцності друкованого вузла..... | 84 |
| 4.5 | Розрахунок теплового режиму | 90 |
| 4.5.1 | Розрахунок теплового режиму стабілізатору напруги..... | 90 |
| 4.5.2 | Розрахунок теплового режиму мікросхеми контролю заряджання акумулятора | 92 |

| | |
|---|-----|
| Висновки до розділу | 93 |
| 5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ | 94 |
| 5.1 Розробка функціональної блок-схеми..... | 94 |
| 5.2 Налаштування реєстрів мікроконтролера..... | 95 |
| 5.3 Проєктування задачі обробки сигналу переривання модулю детектування руху | 96 |
| 5.4 Проєктування задачі виконання запиту до серверу | 96 |
| 5.5 Проєктування задачі керування зарядом акумулятора | 97 |
| Висновки до розділу | 98 |
| ВИСНОВКИ..... | 99 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ | 102 |

Додаток А Технічне завдання на проєктування

Додаток Б Публікація на тему: “Архітектура охоронного IoT комплексу”

Додаток В Публікація на тему: “GSM Сигналізація на базі датчика руху”

Додаток Г Вихідний код програмного забезпечення

Додаток Д Специфікація. Перелік елементів

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК62.42554 9.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 4 |

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

МК – мікроконтролер;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

ІЧ – інфрачервоний;

ОП – операційний підсилювач;

ДП – друкована плата;

ОДП – одношарова друкована плата;

ДДП – двошарова друкована плата;

БДП – багатошарова друкована плата;

МО – монтажний отвір;

КС – координатна сітка;

САПР – Система автоматизованого проєктування;

МБЗ – модуль безпроводового зв'язку;

МДР – модуль детектування руху;

GPRS (англ. General Packet Radio Service) – загальний сервіс пакетної радіопередачі;

GSM (англ. Global System for Mobile Communications) – глобальна система мобільного зв'язку;

IoT (англ. Internet of Things) – глобальна мережа підключених до Інтернету фізичних пристроїв;

SIM (англ. Subscriber Identification Module – ідентифікаційний модуль абонента у вигляді смарт-карти, що застосовується в мобільному зв'язку;

HTTP (HyperText Transfer Protocol) – протокол прикладного рівня передачі даних;

PIR (англ. passive infrared sensor) – піроелектричний датчик руху;

TCP – (англ. transmission control protocol) – один з основних протоколів передачі даних інтернету, призначений для управління передачею даних.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 5 |

ВСТУП

Потреба в охороні власного майна існувала завжди. Відповідно винаходились засоби, що вирішували питання безпеки, забезпечуючи необхідні умови для її впровадження. Найважливіша функція будь-якої охоронної системи є попередити або сприяти запобіганню ситуаціям, що можуть завдати матеріальну або нематеріальну шкоду людям від третіх осіб. Зі зростанням матеріально – технічної бази стало можливим створення широкого класу пристроїв охоронних систем.

У 2000-х набув поширення спосіб передачі сигналу від охоронних систем через мобільний зв'язок на основі GSM (Global System for Mobile Communications): Передача SMS повідомлень, виклик абонента власника тощо.

На початку 2010-х почався стрімкий розвиток вбудованих систем, поява перших IoT (Internet of Things) комплексів, що відкрили можливість інтеграції хмарних технологій зі звичними електронними приладами віддаленого доступу та управління за допомогою мережі Інтернет. Вибір конкретного підходу у розробці сучасного пристрою системи безпеки залежить від того на який вид систем буде попит та, відповідно, якого класу системи потребує сучасний користувач.

Мета і задачі дослідження. Мета дипломного проекту полягає у розробці якомога дешевого та максимально надійного пристрою безпеки, побудованого за концепцією IoT.

Для досягнення цієї мети вирішено спектр задач, основними з яких є:

- аналіз та модернізація існуючих технічних рішень для побудови подібного класу систем;
- аналіз існуючих архітектур охоронних систем;
- проектування архітектури розроблюваного пристрою;
- проектування схеми електричної принципової та друкованої плати з високим рівнем надійності;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК62.425549.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 6 |

- виконання розрахунків, що підтверджують правильність обраних рішень;
- розробка архітектури програмного забезпечення;
- розробка програмного забезпечення для функціонування пристрою.

Пристрій повинен мати якомога малі габаритні розміри та бути компактним у використанні. Найголовнішим у розробці даного пристрою є отримання кінцевої системи з якою може впоратись людина без технічних навичок.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 7 |

1 ДОСЛІДЖЕННЯ АКТУАЛЬНОСТІ, ПЕРЕВАГ ТА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ІСНУЮЧИХ ОХОРОННИХ СИСТЕМ

1.1 Порівняння існуючих методів сигналізування події сучасних охоронних систем

Сигналізація – це електронний пристрій для сигналізування певної події (злом, витік води або газу, розбиття скла і т.д.) за рахунок детектування відповідних сенсорів з подальшою реакцією системи у видимому або звуковому вигляді (ввімкнення сирени, передача SMS повідомлення, виклик абонента тощо).

Варто зазначити, що питання дослідження та порівняння охоронних систем є доволі нетривіальним. Причиною є те, що всі охоронні системи знаходять області свого використання там де це є більш доцільно, що, в першу чергу, визначається експлуатаційними показниками, а саме методами сигналізування події.

Наприклад для об'єкту, що знаходиться у місцевості яка не має виходу до мережі Інтернет не буде можливе використання підключення до Wi-Fi мережі. Відповідно встановлення системи охорони, що побудована на основі підключення до мережі Інтернет буде недоцільним. Очевидно, що доречним буде використання системи з викликом абонента стільниковим зв'язком. Тому за умови визначення області застосування розроблюваного пристрою та з точки зору наявності сучасних технологій та телекомунікаційних потужностей, необхідно проаналізувати та порівняти конкурентоспроможні методи сигналізування події, технології на яких вони побудовані та комбінації їх використання як зі сторони користувача так і зі сторони розробника.

До таких методів можна віднести:

- 1) Виклик абонента стільниковою мережею:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 8 |

Серед переваг:

- стільниковий зв'язок є глобальною мережею, переважна більшість населених пунктів має станції стільникового зв'язку;
- у більшості випадків населення має пристрій на який можливо виконати виклик;
- велика вірогідність того, що користувач побачить виклик за умови, якщо його телефон не буде вимкнено;
- у більшість тарифних планів абонплата за вихідні дзвінки не знімається;
- процес виклику є доволі швидким.

Недоліками методу є:

- необхідність використання SIM-карти, а саме відсутність можливості її комплектації у кінцевий продукт;
- у разі перебоїв у роботі стільникової станції, вихідний дзвінок може бути не виконаний;
- пристрій, що виконує виклик може бути заглушено спеціалізованим обладнанням [1].

2) SMS повідомлення:

У цілому переваги даного методу повторюються з перевагами виклику абонента. Серед недоліків є:

- відсутність гарантії, що повідомлення дійде вчасно;
- великі затримки доставки повідомлення;
- висока абонплата.

Наступні методи сигналізування події відносяться до класу пристроїв, що використовують підключення до мережі Інтернет. Такі пристрої побудовані на концепції IoT. Ці методи наступні:

3) E-mail листування:

Серед переваг:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 9 |

- не потрібно встановлення серверів, лист може бути доставлено на вказану поштову адресу.

Недоліками є:

- відсутність гарантії доставки листа;
- велика затримка доставки;
- необхідно перевіряти пошту;
- обмежена загальна кількість листів, що може бути отримана.

4) Сповіщення у мобільному додатку:

Серед переваг:

- Додаток є незалежною програмою сам по собі;
- Сповіщення приходять у зручній формі на усі пристрої де його встановлено;
- Можлива модифікація для потреб користувача;
- Можливість оновлювати додаток.

Недоліками є:

- необхідність встановлення додатку користувачу;
- велику частину населення необхідно навчати користуватись додатком;
- розробники додатку повинні слідкувати за версією операційної системи пристроїв та впроваджувати оновлення для них;
- необхідність мати додаток для різних операційних систем (Android, iOS);
- абонплата за знаходження додатку у магазині додатків;
- висока вартість розробки додатку, що вплине на зростання собівартості кінцевого продукту;
- необхідно впроваджувати додаткові заходи інформаційної безпеки;
- розробнику необхідно підтримувати додаткове обладнання (сервер, хмарний сервіс, поштовий сервер та інші). У разі виникнення

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК62.425549.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 10 |

проблем з цим обладнанням можливі перебої роботи системи охорони, що його використовує.

5) Сповіщення у месенджері (мається на увазі Telegram месенджер):

Серед переваг:

- сервери Telegram є автономними, що гарантує доставку повідомлень навіть у разі тимчасово вимкнених серверів постачальника системи;
- месенджер Telegram є широкоживаним наряду з Viber, Skype та інші, тобто цей додаток вже є встановленим та інтерфейс користувача є вже знайомим;
- відкритий вихідний код;
- у додатку Telegram за замовчуванням встановлено отримання повідомлень, що супроводжуються звуковим супроводом;
- відсутня будь-яка абонплата за користування месенджером;
- високий рівень інформаційної безпеки;
- месенджер Telegram розроблений для найбільш вживаних архітектур процесорів (ARM, x86) та операційних систем (Windows, Linux, Android, iOS).

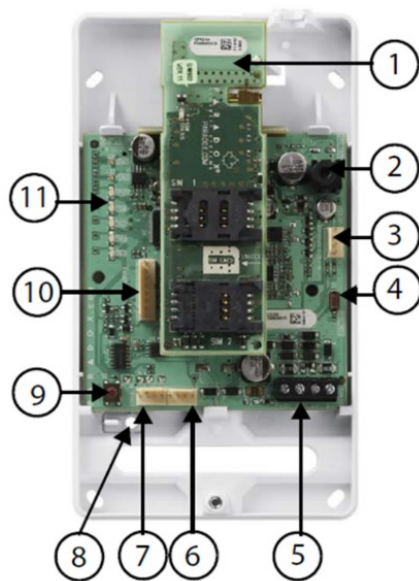
Серед недоліків:

- необхідна реєстрація та аутентифікація користувача;
- необхідно підтримувати сервер з базою даних користувачів та автономною програмою, що буде керувати Telegram ботом.

Проаналізувавши вищезгадані методи сигналізації події, прийнявши за увагу сучасні підходи, цінові показники, показники зручності, показники надійності, рівень складності проектування та розробки прийнято рішення використовувати метод сповіщення Telegram месенджером.

1.2 Аналіз існуючих систем охорони, що використовують підключення до мережі Інтернет для сигналізування події. Патентний пошук

Розглянемо перший існуючий IoT пристрій – “Модуль зв’язку GPRS/GSM V1.2 – PCS250-RIO2”. Пристрій складається з наступних конструктивних елементів (Рисунок 1.1):



- 1 – модуль GPRS14 та слоти для 2х SIM-карт;
- 2 – гніздо для навушників;
- 3 – роз'єм для підключення додаткової периферії;
- 4 – зарезервовані контакти для майбутнього використання;
- 5 – клеми живлення і підключення за протоколом RS485;
- 6 – зарезеровані контакти для майбутнього використання;
- 7 – роз'єм для підключення з'єднувального кабелю;
- 8 – отвір для тампера;
- 9 – тампер;
- 10 – підключення голосового модуля (VDMP3);
- 11 – світлодіоди індикації.

Рисунок 1.1 – Внутрішній вигляд пристрою PCS250

Даний пристрій виконує наступні функції:

- повідомлення про втрату контролю;
- постановка / зняття з охорони за допомогою SMS;
- повідомлення про тривогу за допомогою SMS (до 16 номерів);
- підтримка 2 SIM-карт для резервування оператора;
- передача статусу по каналах GPRS/GSM;
- можливість заздалегідь посилати записані голосові повідомлення до 8 телефонних номерів для звіту про події в системі (у режимі GSM);
- функція голосового звітування.

Технічні характеристики:

- живлення: 12 В зі струмом у 400 мА в робочому режимі. Можливість роботи від батареї;
- робоча температура: від 0° С до 50° С;
- протокол SMS: 8-біт (IRA: ITU-T.50) або 16-біт (UCS2 ISO / IEC10646);
- робота при вологості: від 5% до 90%;
- вага: 200 г;
- розміри: 172 см х 9,8 см х 4,4 см.

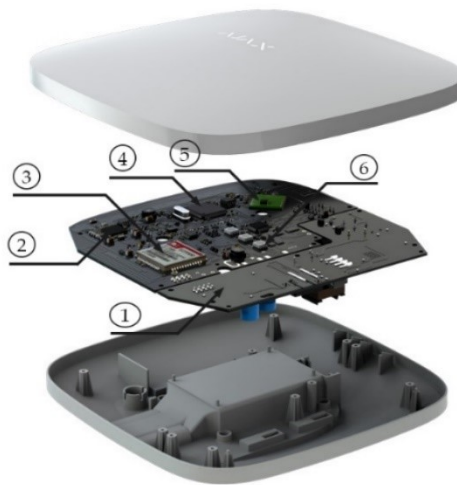
Проаналізувавши технічну документацію, виділено наступні недоліки даного пристрою:

- характеристики та інструкція з експлуатації направлені для розуміння людиною, що буде встановлювати цей прилад (наприклад для технічного спеціаліста), а не людиною, що його придбала;
- керування виконується шляхом передачі SMS повідомлень. Такий тип керування не є надійним;
- наявність 2-х SIM карт. Це додаткові витрати та складності у використанні;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК62.425549.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 13 |

- дротове з'єднання – складність установки і велика кількість дротів. Як додаткова опція, звичайно добре, це більш надійний канал передачі даних. Але для користувача самостійне встановлення є дуже незручним;
- У конструкції корпусу відсутній будь-який захист від зовнішніх впливів;
- Кабель, що використовується для з'єднання з комп'ютером не є широкоживаним;
- Відсутність резервного живлення;
- Складна для розуміння схема індикації.

Наступний аналог – “Інтелектуальна централь системи безпеки AJAX Hub”. Пристрій має наступний вигляд (Рисунок 1.2) та складається з таких конструктивних елементів:



- 1 – блок живлення;
- 2 – Ethernet контролер;
- 3 – GSM модуль;
- 4 – мікроконтролер;
- 5 – радіо трансівер;
- 6 – світлодіодні індикатори.

Рисунок 1.2 – Внутрішній вигляд Ajax hub

Дана централь координує роботу системи безпеки Ajax, що підтримує підключення до 100 пристроїв. Керування хабом виконується через мобільний додаток з будь-якої точки світу, тому вимагає підключення до мережі Інтернет. Для надійності використовується відразу два каналу зв'язку – Ethernet та GSM мережа мобільного оператора (GPRS).

Технічні характеристики:

- максимум підключених пристроїв – 100;
- максимум логічних кімнат – 50;
- максимум користувачів хабу – 50;
- живлення – від 110 В до 250 В;
- сигнал тривоги: SMS, push, дзвінок;
- акумулятор – Li-Ion 2 А·ч (До 14 годин автономної роботи);
- діапазон частот – 868,0-868,6 МГц;
- максимальна потужність радіосигналу – до 25 мВт;
- канали зв'язку: GSM, GPRS, Ethernet;
- діапазон робочих температур – від 0° С до 50° С;
- габарити – 162,7 мм х 162,7 мм х 35,9 мм;
- вага – 330 г.

Розглянута охоронна система входить до класу високотехнологічних систем. Вона включає у себе широкий функціонал. Нажаль даний клас пристроїв не покриває потреби тих людей, для кого немає можливості придбати або встановити такий пристрій самостійно. Для прикладу набір “Ajax StarterKit”, що включає у себе централь, датчик руху, бездротовий брелок буде коштувати приблизно 212 \$ (5 699 грн). Додатково для встановлення та налаштування у більшості випадків необхідно наймати технічного спеціаліста.

Архітектура цього пристрою є повністю бездротовою (окрім централі), що вносить певні корективи у питаннях надійності. Наприклад те, що

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК62.425549.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 15 |

дізнавшись частоту на якій бездротові пристрої комунікують з централлю та інтервали за які вони передають дані (наприклад за допомогою HackRF), можна проводити безліч інформаційних атак. Результат цих дій з деякою вірогідністю призведе передачу доступу до охороняемого об'єкту. Також відомо, що бездротові пристрої можуть бути заглушені спеціалізованим обладнанням.

Здійснено патентний пошук та проаналізовано патент з номером **RU2670904** – “Багатофункціональна система контролю і сигналізації стану об'єкту, що охороняється” [2]. Автор Мезін Андрій Євгенович, рік публікації 2017. У даному патенті описано технічне рішення, що відноситься до охоронно-пожежної сигналізації, системам безпеки газо-повітряного середовища і дистанційного керування силовим обладнанням і може бути використано для:

- централізованої майнової та пожежної охорони;
- контролю концентрації метану, кисню, діоксиду вуглецю, оксиду вуглецю;
- голосового зв'язку і оповіщення;
- контролю місцезнаходження персоналу;
- дистанційного керування силовими пристроями (вентилятори, фідери, аварійне і робоче освітлення);
- на різних промислових об'єктах і в житлово-комунальному господарстві.

Перевагою даного рішення є гнучкість системи, а саме можливість комплектування модулів системи відповідно до потреб замовника.

Також виділяються переваги у технічних характеристиках, а саме:

- модульність, тобто підключення периферії для розширення функціоналу за наступними протоколами: RS-485, RS-232, CAN 2.0 A /B, USB 2/0 host, Ethernet 10/10 Base-T, а також інформаційний обмін з верхнім рівнем системи по протоколу TCP / IP за Ethernet

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК62.42554 9.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 16 |

10/1000 TX (IEEE групи 802.3) або GPRS з використанням зовнішнього модему;

- робота при температурі навколишнього повітря від мінус 30° С до плюс 70° С;
- відносна вологість навколишнього повітря до 98 %;
- широкий діапазон напруги живлення – від 8 В до 60 В;
- ступінь захищеності корпусу IP65 за ГОСТ 14254-96;
- середній термін служби складає 12 років.

З отриманої інформації по даному патенту, до недоліків можна віднести те що пристрій є стаціонарним, має високе енергоспоживання (3 Вт), що унеможливорює модифікацію з використанням живлення на акумуляторах. Та важливим недоліком є відсутність резервного живлення. Також у патенті не описано як система повинна взаємодіяти з користувачем або оператором та які заходи інформаційної безпеки впроваджені. Зважаючи на те що даний патент описує технічне рішення, не знайдено реальних прототипів, що використовують описані властивості.

1.3 Аналіз IoT архітектури протоколів на яких вона побудована

У випадку сигналізації, побудованої за концепцією IoT, використовується передача повідомлень мережею Інтернет. Для цього пристроєм встановлюється зв'язок з сервером, який слухає запити до нього. Наприклад реакцією на відпрацювання сенсорів можуть слугувати запити за протоколом HTTP. У випадку сигналізації, що використовує Telegram месенджер, хмарним сервісом виступає сервер Telegram, що, у свою чергу, виконує певні команди, що призводять до сповіщення власника шляхом відправки повідомлення до його облікової сторінки Telegram за допомогою Telegram боту. Архітектуру такого IoT пристрою, тобто що використовує Telegram месенджер зображено на Рисунку 1.3. Telegram бот – це самостійний додаток, який, насамперед, повинен бути зареєстрований у головному боті, обліковий запис у мережі якого має назву – “@fatherbot”.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК62.42554 9.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 17 |

Якщо йде мова про пристрій, що буде виконувати запити до серверу, то виступає необхідність підключення пристрою до мережі Інтернет. Для встановлення сесії використовується протокол прикладного рівня стеку TCP/IP, який має назву HTTP. HTTP сам по собі є протоколом клієнт-серверної взаємодії, що означає ініціювання запитів до сервера самим одержувачем [3]. Це, в свою чергу, дає можливість виконувати запити до Telegram серверу у форматі клієнт-сервер, де пристрій буде виступати у ролі клієнту і ініціювати запити.

Протокол HTTP найчастіше використовує можливості іншого протоколу – протоколу TCP (Transmission Control Protocol). Сам по собі TCP є протоколом транспортного рівня моделі OSI, що призначений для управління передачею даних у комп'ютерних мережах. TCP отримує потоки даних від протоколу початкового джерела, а саме від протоколу HTTP з портом 80. TCP є важливим механізмом через те, що даний протокол забезпечує надійну передачу даних з підтвердженням отримання пакетів і повторною передачею зниклих або пошкоджених пакетів. Тобто якщо при передачі в стеці TCP/IP виявлена помилка, то сегмент даних буде передаватися до тих пір, поки не буде отримано підтвердження успішної доставки [4].

З огляду на те що йде мова про систему охорони, виникає необхідність використовувати безпечний (шифрований) протокол передачі даних. У разі використання HTTP мова йде про використання його безпечної версії, що має назву HTTPS (HyperText Transfer Protocol Secure). Дані в протоколі HTTPS передаються поверх криптографічних протоколів TLS. На відміну від HTTP з TCP-портом 80, для HTTPS за замовчуванням використовується TCP-порт з номером 443.

Для більш детального огляду взаємодії пристрою з сервером розглянемо архітектуру, зображено на Рисунку 1.3 [5].

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК62.425549.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 18 |

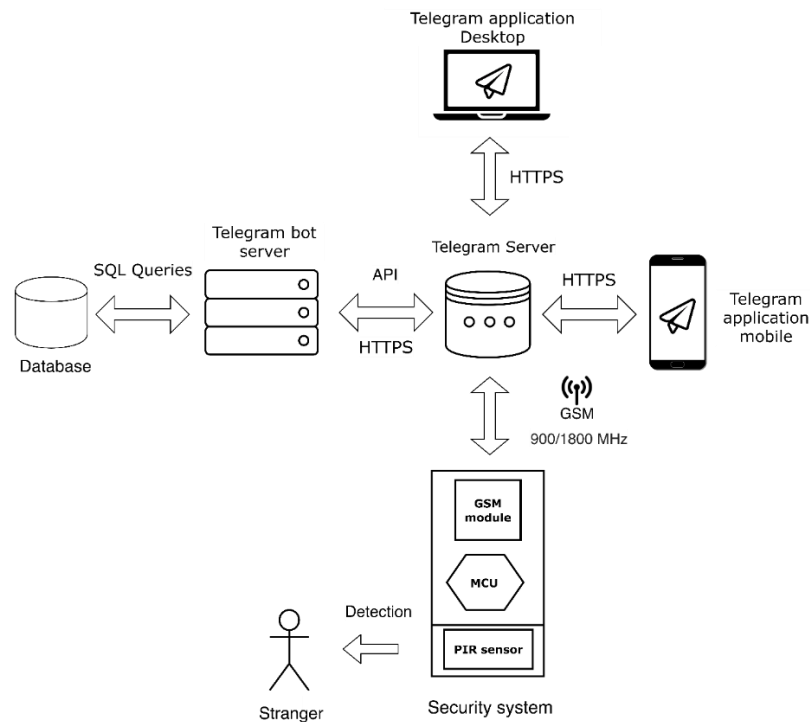


Рисунок 1.3 – Архітектура пристрою, що використовує Telegram месенджер

Архітектура, зображена на Рисунку 1.3 складається з наступних структурних елементів:

- Security system (Система охорони);
- Telegram bot server;
- Telegram server ;
- Database (База даних);
- Telegram Desktop/Smartphone.

Для більш детального опису взаємодії розглянемо деякі компоненти окремо.

Telegram Server. Даний сервер виступає у ролі реєстру для Telegram ботів, де кожний бот є зареєстрованим та налаштованим розробником. Він виступає у ролі сполучної ланки між сигналізацією та обліковим Telegram записом користувача.

Після реєстрації розробником боту буде створений спеціальний ідентифікаційний ключ (наприклад 110201543: “AAHdqTcvfdfsH1vGWgdJxfSgsdAs0K5PALD”), за допомогою якого бот може

отримувати всі сповіщення користувачів від сервера Telegram (Telegram Desktop/mobile – Рисунок 1.3). Це дозволяє користувачам надсилати повідомлення навіть якщо бот тимчасово не працює (наприклад технічні несправності серверу). Аналогічним чином сервер може сповіщати користувачів про подію, шляхом транслявання повідомлення даним ботом, який назначається користувачеві.

Telegram bot server. Даний сервер є спеціалізованим обладнанням, що запускає Telegram бота як автономну програму. Автономна програма – це відповідний скрипт, який регулярно опитує сервер Telegram. Потім, відповідно до внутрішніх алгоритмів, виконує різні функції. Мета даної програми виконувати “внутрішню” логіку бота, а саме синхронізацію з пристроєм, отримування статусу від пристрою, генерування сповіщення для Telegram додатку, тощо. Синхронізація відбувається шляхом періодичного виконання HTTPS запиту з пристрою до серверу. Даний процес є необхідним для отримання інформації про стан системи у режимі реального часу. Наприклад у певний проміжок часу пристрій не провів запит до серверу, тоді сервер може зробити висновок про те, що контроль над пристроєм втрачено. Інформація про статус пристрою, ідентифікаційний ключ користувача та інші поля буде зберігатися у базі даних – Database (Рисунок 1.3).

Зауважимо, що взаємодія зі стеком протоколів TCP/IP, у контексті розроблюваного пристрою, базується на використанні протоколу GPRS. Протокол GPRS є прозорим для стеку TCP/IP, а це значить, що сформовані пакети можуть мати формат IP та X.25, тому існує можливість використання будь-яких стандартних протоколів транспортного та прикладного рівнів (TCP, UDP, HTTP, HTTPS) [6].

Протокол GPRS базується на таких базових станціях: SGSN та GGSN [7].SGSN (Serving GPRS Support Node) – основний компонент GPRS-системи по реалізації всіх функцій обробки пакетів. Відповідає за наступні функції:

- контроль доставки пакетів;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК62.42554 9.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 20 |

- перетворення кадрів GSM у формати, які використовуються протоколами TCP/IP глобальної мережі Інтернет;
- шифрування даних (алгоритми A3/A5);
- збір білінгової інформації.

Пакетний комутатор буде розвантажувати GSM комутатор, забезпечуючи локальну обробку пакетної інформації, залишаючи звичайному комутатору лише голосовий трафік.

GGSN (GPRS Gateway Service Node) – забезпечує маршрутизацію даних між GTP мережею і зовнішніми IP мережами. Функції даного вузла наступні:

- маршрутизація даних;
- адресація даних;
- динамічна видача IP-адрес;
- тарифікація послуг;
- зберігання бази даних маршрутизації та бази даних з адресами.

У порівнянні протоколу GPRS, наприклад з його попередником, протоколом CSD (Circuit Switched Data) виділяються наступні переваги:

- Висока швидкість передачі – 171,2 кбіт/с (при використанні 8 таймслотів);
- Менший час на відкриття сесії;
- Тарифікація відбувається за обсягом переданих даних;
- Не займає увесь канал на час передачі даних.

Найбільшою перевагою використання даного протоколу з точки зору розроблюваного пристрою є те що для передачі IP пакетів не потрібно локально встановлювати маршрутизатори для маршрутизації пакетів у мережу Інтернет. Наприклад у разі підключення пристрою до Wi-Fi мережі (за стандартом 802.11) виникає необхідність встановлювати мережевий маршрутизатор та налаштовувати Wi-Fi мережу, що включає у себе налаштування режимів роботи, параметрів безпеки, вибір каналу тощо [8]. У

разі підключення пристрою за протоколом Ethernet виникає необхідність підключення UTP кабелів з роз'ємом 8P8C, що впливає на збільшення розмірів пристрою, постає необхідність внесення додаткових апаратних ресурсів, встановлення надійного мережевого обладнання. Таким чином, використовуючи протокол GPRS, сигналізація може бути незалежною від будь-якого периферійного обладнання і стати цілком мобільною у використанні.

Висновок до розділу

Рішення стосовно обраного методу сигналізування події відрізняє такий пристрій від тих, що було розглянуто у даному розділі. А саме за показниками зручності використання, рівня складності розроблюваного рішення, цінового фактору. Пристрій, що використовує мережу Інтернет необхідно будувати за концепцією IoT, що включає до свого складу таку можливість. Проаналізовано існуючі протоколи стеку TCP/IP (HTTP, HTTPS, Wi-Fi, Ethernet, GPRS), а також принципи взаємодії з IoT пристроєм. Проведено порівняння недоліків протоколів канального рівня. Прийнято рішення використовувати протокол GPRS для побудови системи охорони за архітектурою, що базується на сигналізації події за допомогою Telegram месенджера.

Проаналізовано сучасні аналоги розроблюваного пристрою, а саме бездротової сигналізації з підключенням до мережі Інтернет.

Зазначені рішення мають ряд недоліків, серед яких:

- складність у експлуатації та встановленні;
- відсутність резервного живлення;
- висока вартість;
- обидва рішення не мають універсального з'єднання (лише або дротове або бездротове).

Розглянуте технічне рішення, описане у патенті має ряд технологічних недоліків серед яких є неможливість акумуляторного живлення та

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК62.42554 9.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 22 |

портативного використання. Не описано рішення, що пов'язані з впровадженням інформаційної безпеки. Відсутні будь-які прототипи за даним патентом. Недоліки розглянуті у даному розділі обумовлюють актуальність розроблення нової охоронної системи. Дана система повинна володіти характеристиками наведеними у ТЗ.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК62.425549.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 23 |

2 СХЕМОТЕЧНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ

2.1 Розробка структурної схеми та опис принципу роботи пристрою

Розроблюваний пристрій складається з двох структурних одиниць: Материнської плати та плати детектування руху. Структурну схему даного пристрою представлено на Рисунку 2.1. Також даний блок зображено у вигляді структурної одиниці на Рисунку 1.3 – “Security system”.

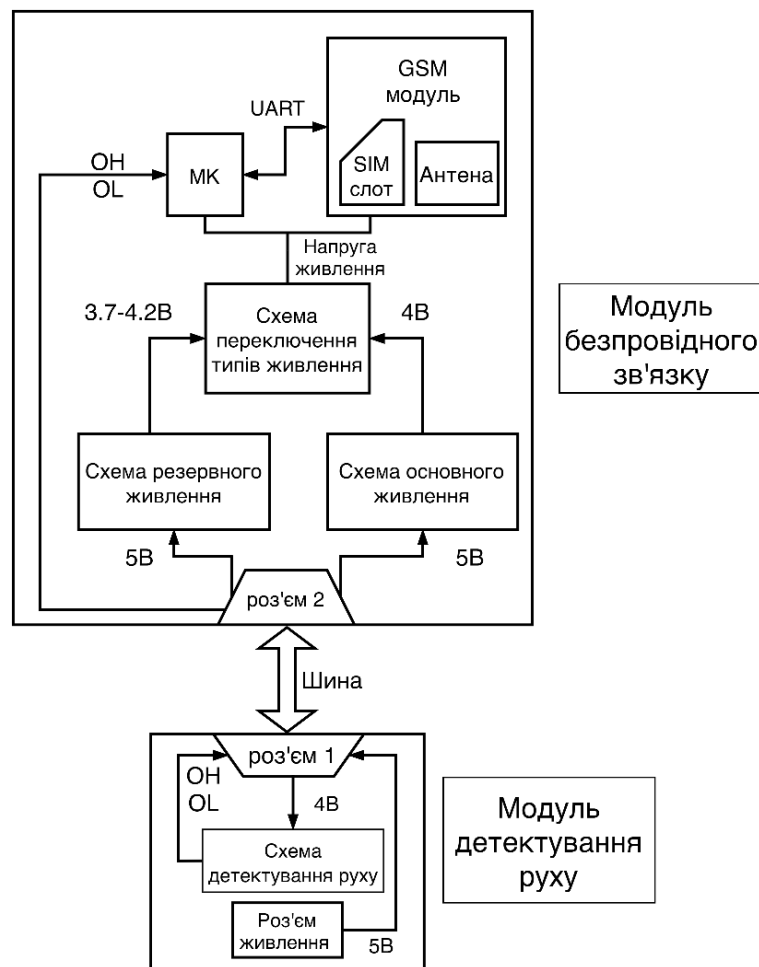


Рисунок 2.1 – Блок-схема розроблюваного пристрою

Розглянемо обидві структурні одиниці окремо. Модуль детектування руху являє собою друковану плату, що містить піроелектричний датчик та схему перетворення корисного аналогового сигналу у два цифрових імпульси. Останні використовуються як дані про детектування руху, що

поступають на вхід мікроконтролеру. Також модуль має роз'єм для підключення до джерела живлення. Дану друковану плату відділено від основної плати для того щоб кінцевий пристрій мав високу ремонтпридатність та модульність (можливість підключення інших типів модулів). Розглянутий модуль фізично з'єднується з основним гнучким шлейфом, утворюючи шину. Таким чином, вихідні сигнали даної шини будуть наступні: сигнали інформаційні OH,OL, вихідна напруга живлення 5 В, напруга живлення 4 В для живлення даного модуля та контакти землі.

Структурна одиниця “Модуль безпроводового зв'язку” є друкованою платою, що містить схему резервного, схему основного живлення та схему їх взаємного переключення, а також мікроконтролер (МК) та GSM модуль з вбудованим SIM слотом.

Схема резервного живлення представляє собою акумулятор та мікросхему його заряджання . Дана мікросхема забезпечує необхідний струм заряджання на виході поки це необхідно. Акумуляторне резервне живлення є необхідним для систем безпеки, що базуються на датчиках. Проблема полягає у тому, що швидкість переходу датчика у робочий режим є дуже великою порівняно зі швидкістю пересування людини. При від'єднанні зовнішньої напруги, процес заряджання акумулятора зупиниться та акумулятор стане головним джерелом живлення компонентів схеми. Вибір типу живлення відбувається автоматично. Тобто поки присутня зовнішня напруга, вона стає основним джерелом живлення компонентів схеми, в той час як мікросхема заряджання та керуючий мікроконтролер будуть забезпечувати процес заряджання акумулятора до потрібного рівня напруги.

Мікроконтролер виконує функцію обробки сигналу, що поступає від схеми детектування руху, а також виконує запрограмовані набори команд для керування GSM модулем. Сигнал зі схеми детектування руху може слугувати перериванням для виходу мікроконтролеру з енергозберігаючого режиму. Кожен раз, коли необхідно встановити сесію, мікроконтролер просинається

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 25 |

та пересилає необхідні команди по тракту, побудованому між мікроконтролером та GSM модулем. Процес передачі потоку даних здійснюється за протоколом UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) на встановленій бодовій швидкості. Формат даних на які спрацьовує GSM модуль мають назву “АТ-команди”. Така назва через те, що префікс “АТ-” необхідно додавати до кожної з команд. Тракт передачі команд до GSM модуля зображено на Рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – тракт керування GSM модулем

Для того щоб користувач даної системи охорони мав поточну інформацію про статус об’єкту, необхідно встановлювати сесію з сервером через певний проміжок часу. У разі якщо пристрій не встановив сесію за певний проміжок часу, сервер може зробити висновок про навмисне або ненавмисне пошкодження системи. Для встановлення сесії необхідно зареєструвати пристрій у GSM мережі та виконати HTTP запит до серверу, використовуючи АТ-команди. У разі якщо команда виконана успішно, GSM модуль у відповідь посилає повідомлення “OK”, а у разі виникнення помилки відповідь буде мати вигляд “ERROR”. Відповіді потрібно зберігати та обробляти мікроконтролером. За результатом цих відповідей алгоритм робить висновок про статус виконання команди та стан модуля.

Для того щоб встановити сесію та виконати HTTPS запит до серверу за певною IP адресою необхідно послати наступні АТ-команди:

AT+HTTPPARA="URL "

https://xinitydev.herokuapp.com/devapi/botecho/hello_sim8001 OK

AT+HTTPPARA="UA","G" OK

AT+HTTPPARA="REDIR",1 OK

AT+HTTPSSL=1 OK

AT+HTTPACTION=0 OK

Відповідь від GSM модуля після виконання HTTPS запиту:

+HTTPACTION: 0,200,17

AT+HTTPREAD

+HTTPREAD: 17

OK: hello_sim8001

OK

Закриття сесії:

AT+HTTPTERM OK

У разі успішного виконання запиту з отриманням відповіді “200” за протоколом HTTP, МК переходить у робочий режим.

2.2 Вибір та обґрунтування елементної бази основної плати

2.2.1 Вибір обчислювального засобу

З погляду на те що охоронна система повинна обмінюватися даними та приймати певні рішення за строгим алгоритмом, система повинна мати обчислювальний засіб. Такий засіб повинен задовольнити потреби у питаннях надійності, конкурентоспроможності, зручності та дешевизни використання. При дослідженні існуючих рішень розглянуто засоби, що відображено у таблиці 2.1, де наведено основні переваги та недоліки кожного з них. Проаналізувавши таблицю 2.1, прийнято рішення будувати розроблюваний пристрій на базі мікроконтролера. Даний обчислювальний засіб є найбільш доцільним для використання, виходячи з вимог поставлених у ТЗ.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК62.425549.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 27 |

Таблиця 2.1 – порівняльна таблиця існуючих обчислювальних засобів

| Вид обчислюваного засобу | Переваги | Недоліки |
|--------------------------|---|--|
| FPGA | <ul style="list-style-type: none"> – Простота модифікації; – Простота прототипування. | <ul style="list-style-type: none"> – Надвисока ціна; – Великі габарити; – Необхідність програмування та використання зовнішньої флеш-пам'яті. |
| ARM процесор (Cortex A8) | <ul style="list-style-type: none"> – Простота прототипування. Існує велика кількість відлагоджувальних плат; – Можливість використання будь-якої мови програмування; – Велика кількість периферії; – Робота на великих частотах; – Можливість використання операційної системи GNU/Linux. | <ul style="list-style-type: none"> – Надвисока ціна; – Великі габарити; – Необхідність програмування та використання зовнішньої флеш-пам'яті; – Необхідність використання DDR та Flash пам'яті; – Складність проектування друкованої плати. |
| МК | <ul style="list-style-type: none"> – Низька ціна системи в цілому; – Малі габарити; – Низьке енергоспоживання; – Велика кількість вендорів; – Простота вдосконалення та ремонту; – Простота розробки алгоритмів; – Велика кількість середовищ програмування; – Велика кількість середовищ програмування; – Наявність генераторів коду ініціалізування периферії; – Інтегрована Flash пам'ять; – Можливість використання операційних систем реального часу; – Достатня кількість периферійних блоків що є найбільш розповсюдженими; – Достатня кількість портів вводу-виводу; – Можливість програмування на багатьох мовах програмування; – Можливість роботи від внутрішнього генератора тактової частоти. | <ul style="list-style-type: none"> – Робота на частотах до 200 МГц; – Складності інтегрування бібліотек для роботи с периферійними блоками; – Перевагу у використанні для програмуванні у більшості випадків надають мові програмування С. |

2.2.2 Вибір мікроконтролера та обґрунтування схеми з його застосуванням

При виборі мікроконтролера основними критеріями є наявність: апаратного блоку UART, інтегрованої Flash пам'яті, зовнішніх переривань, режиму IDLE, SysTick, АЦП для вимірювання напруги акумулятора, можливість апаратного відлагодження та низька вартість. Пораховано, що для забезпечення роботи схеми необхідно 10 пінів загального призначення. Також важливим є критерій вибору корпусу МК. Тип обраного корпусу впливає на складність ремонту та монтажу на виробництві. Потрібно підкреслити, що охоронна система повинна мати можливість резервного відпрацювати від акумулятора, необхідно обирати МК з сімейств мікроконтролерів з низьким енергоспоживанням.

Розглянуто МК компаній виробників ST microelectronics, Atmel та Texas instruments з різними архітектурами. Проаналізовано лінійки МК з низьким енергоспоживанням, відсортовано за зростанням ціни та обрано три найдешевші варіанти, що найбільше відповідають вимогам. Перелік розглянутих мікроконтролерів з основними критеріями було складено у Таблиці 2.2

Таблиця 2.2

| | Назва мікроконтролера | | |
|--------------|-----------------------|--------------|--------------|
| Критерій | STM32L010F4 | ATSAMD10D13A | MSP430FR2422 |
| UK price, \$ | 1,96 | 1,72 | 2,097 |
| US price, \$ | 1,22 | 0,83 | 0,32 |
| UART | LPUART | + | + |
| Flash memory | + | + | FRAM |
| SWD/JTAG | SWD | SWD | JTAG |

Продовження таблиці 2.2

| Критерій | STM32L010F4 | ATSAMD10D13A | MSP430FR2422 |
|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| ADC | 12 біт, 10 каналів | 12 біт, 10 каналів | 10 біт, 8 каналів |
| Споживання струму | 47 мкА | 3 мА | 120 мкА |
| Idle | + | + | + |
| Кіль-ть GPIO | 15 | 20 | 16 |
| Архітектура | ARM 32 біт | MIPS 32 біт | RISC 16 біт |

Проаналізувавши дані з таблиці 2.2, обрано мікроконтролер STM32L010F4. З технічної точки зору цей МК програє MSP430FR2422 у разі його використання для IoT пристрою, працюючого від акумулятора. Але виходячи з того, що RISC архітектуру розроблено нещодавно, існує мала кількість технічних рішень, які використовує даний МК. З цього випливає те що наразі можуть виникнути проблеми з розробкою програмного забезпечення. Також найголовніше є те що через низький попит ціна в Україні значно вище серед усіх тих МК що були розглянуті.

Серед необхідних схемотехнічних рішень для роботи МК є вибір елементів живлення. Проаналізувавши технічну документацію на обраний МК визначено, що необхідно розмістити керамічний конденсатор з ємністю 100 нФ та електролітичний конденсатор з ємністю 10 мкФ. З теоретичної точки зору, перший конденсатор необхідний для стабілізації напруги живлення, а другий для зменшення високочастотних завад у колі живлення. Для фільтрації аналогового живлення, саме для зниження рівня електромагнітних завад, прийнято рішення використати котушку індуктивності з індуктивністю, що рівна 10 мкГн та два конденсатори для стабілізації напруги живлення [9].

Програмування МК здійснюється за допомогою програматору з назвою ST-link, контакти якого необхідно підключити до відповідних пінів мікроконтролера. Для цього повинно бути виведені спеціальні контактні майданчики. Для розроблюваного пристрою розроблено спеціальний роз'єм з отворами. Даний роз'єм має усі необхідні виводи – лінію даних, частоти, скидання живлення та заземлення. Лінії даних та частоти мають послідовне включення резисторів з низьким опором для зменшення зовнішніх завад при передачі потоку даних. Лінію скидання підтягнуто до напруги живлення з метою встановлення високого рівня на вході при забезпеченні напругою живлення. У разі якщо дану лінію буде опущено до землі, мікроконтролер буде перезавантажено. Також дану лінію приєднано до землі через керамічний конденсатор, мета якого знизити високочастотні завади на лінії скидання.

Для того щоб виконати програмування МК, необхідно провести компіляцію вихідного програмного забезпечення саме 32-у бітним ARM компілятором. Це пояснюється тим, що конвеєр мікропроцесору може розроблено для виконання лише таких інструкцій. Вихідний бінарний файл записується у флеш пам'ять безпосередньо за допомогою вищезгаданого програматора. Для того щоб загрузчик МК виконав першу інструкцію саме з нульової адреси флеш пам'яті, пін BOOT0 під'єднано до землі.

2.2.3 Вибір модуля зв'язку

Виходячи з вимог поставлених у ТЗ, необхідно провести аналіз та вибір саме GSM модуля. Критерії вибору GSM модуля впливають з задачі поставленої у ТЗ. А саме модуль повинен мати можливість встановлення GPRS сесії, напруга живлення повинна бути нижчою за 5 В. У ці критерії вписуються майже усі GSM модулі на ринці. Після того як модулі для порівняння будуть обрані, необхідно скористатися наступними критеріями, а саме ціна та рівень споживання струму. Проаналізовано GSM модулі компаній WAVGAT та SimCom. Модулі компанії SimCom виділились

низькою ціною, наявністю необхідного функціоналу, необхідними технічними характеристиками та поширеністю на ринці.

Проаналізовано та визначено, що усі модулі, які продаються у вигляді готового модуля вже містять саму мікросхему GSM, SIM-слот, індикатор, uFL-роз'єм для антени, контакти, резистори та конденсатори. Подібний модуль зображено на Рисунку 2.3.

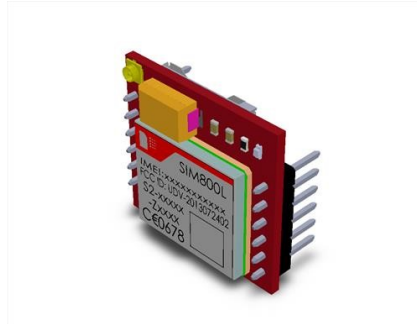


Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд GSM модуля

Виявилось, що мікросхема GSM, яку можливо придбати окремо, коштує дорожче аніж готовий модуль. Даний модуль необхідно використати у розроблюваному пристрою цим самим значно зменшити вартість кінцевого виробу. Для дослідження існуючих модулів, обрано три найдешевші модулі компанії SimCorp. Порівняльна характеристика відображена у Таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

| Параметр | SIM800C | SIM800L | SIM868 |
|---|---------|---------|--------|
| Ціна, \$ | 2,09 | 1,66 | 4,59 |
| Рекомендована напруга живлення, В | 4 | 4 | 4 |
| Середній струм споживання у режимі GPRS, мА | 272,5 | 296,755 | 277,75 |
| Піковий струм споживання, А | 2 | 2 | 2 |

Прийнято рішення про використання модуля на базі GSM мікросхеми SIM800L. На жаль, даний модуль має найгірший показник середнього споживання струму, але беручи за увагу його вартість, він якнайкраще підходить для рішення з низькою собівартістю. Фактор ціноутворення є найбільш вагомим для розроблюваного пристрою.

2.2.4 Вибір акумулятора для резервного живлення

Беручи за увагу той факт, що необхідно закласти можливість роботи від резервного живлення, є доцільним використання перезаряджаємих джерел живлення – акумуляторів. Серед існуючих типів акумуляторів можна виділити акумулятори: Нікель-кадмієвий (NiCd), Нікель-метал-гідридний (NiMH), Літій-іон (Li-ion), Літій-іон полімер (Li-po). Варто зазначити, що акумулятори NiMH та NiCd виділяються низькою робочою напругою (приблизно 1,2 В), високою ціною та низьким терміном експлуатації, тому можна вважати, що дані акумулятори не відповідають вимогам. Для того щоб проаналізувати та порівняти акумулятори типу Li-ion та Li-po складено таблицю 2.4.

Таблиця 1.4 – порівняльна характеристика літєвих акумуляторів

| Параметр | li-ion | li-po |
|-------------------------------------|----------------|----------------|
| Номінальна напруга, В | 3,6-3,7 | 3,6-3,7 |
| Діапазон робочих напруг, В | 3,0 - 4,2/4,35 | 3,0 - 4,2/4,35 |
| Внутрішній послідовний опір, Ом | < 100 | < 50 |
| Робочий температурний діапазон, ° С | Від -20 до 60 | Від -20 до 60 |
| Температура заряджання, ° С | Від 0 до 40 | Від 0 до 40 |
| Температура зберігання, ° С | Від -20 до 35 | Від -20 до 35 |
| Кількість робочих циклів | 500 | 500 |

Відомо, що акумулятори li-po є вдосконаленою конструкцією li-ion акумулятора. У якості електроліту використовується полімерний матеріал. За типом пакування літєві акумулятори поділяються на циліндричні, що відносяться тільки до li-ion типу акумуляторів та призматичні, що відносяться як до li-ion так і li-po типів акумуляторів. Проаналізувавши ринок, визначено, що li-ion циліндричний акумулятор коштує дешевше будь-якого li-po акумулятора приблизно на 30 відсотків. Тобто висновок наступний, що при порівнянні обох типів акумуляторів, тип li-po виявився більш досконалим з технічних показниками, але і дорожчий у будь-якому його виконанні. Звертаючи увагу на те, що акумулятор планується використовувати тільки у якості резервного живлення, є доречним вибрати більш дешеве рішення, а саме циліндричний li-ion акумулятор [10].

2.2.5 Вибір та обґрунтування компонентів схеми заряджання акумулятора

Виходячи з того, що пристрій повинен мати можливість працювати від акумулятора, виникає необхідність у пошуку рішення, що може підтримувати його робочу напругу, а точніше забезпечувати процес заряджання. Для вирішення цієї задачі здійснено пошук інтегральної мікросхеми, що може виконувати таку функцію. Найважливішими характеристиками такої мікросхеми є постійна вхідна напруга в околі 5 В, підтримка живлення li-po, li-ion акумуляторів, можливість контролювання вихідного струму та низька вартість.

За вищевказаними критеріями знайдено інтегральну мікросхему MCP73811х. Даний ряд мікросхем є найдешевшим серед існуючих аналогічних рішень. Дане рішення характеризується низькою вартістю, можливістю заряджання li-ion та li-po акумуляторів, наявністю захисту від короткого замикання та від підключення неправильно полярністю, захистом від перегріву (від 150° С) та можливістю керування вихідним струмом. Недоліком є відсутність автоматичного відключення акумулятора

від зарядки при повному його заряді. Це необхідно реалізовувати програмно, точніше за допомогою контакту керування “Enable”. Також важливою функцією є програмований тип керування вихідним струмом. Для цього на вхід PROG мікросхеми необхідно подати визначений логічний рівень. З документації на обрану мікросхему визначено, що логічний нуль відповідає вихідному струму у 80 мА, логічна одиниця – 450 мА [11].

З метою вимірювання рівня напруги на акумуляторі акумулятора вирішено з’єднати клеми акумулятора зі входом АЦП мікроконтролера. Вбачаючи, що напруга живлення аналогової частини МК V_{DDA} рівна 3,3 В, відповідно і опорна напруга АЦП мікроконтролера також дорівнює 3,3 В, тобто діапазон вхідних значень АЦП від 0 В до 3,3 В. Беручи за увагу даний параметр, необхідно понизити рівень вихідної напруги акумулятора за допомогою подільника напруги, наприклад навпіл за формулою (1.1):

$$U_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{бат}}}{2}, \quad (2.1)$$

де $U_{\text{бат}}$ – напруга акумулятора, В.

Для того щоб визначити діапазон вихідних напруг li-ion акумулятора, необхідно переглянути таблицю 2.4, де вказано, що максимально можлива напруга такого акумулятора складає 4,35 В.

Підставимо дане значення:

$$U_{\text{вих}} = \frac{4,35}{2} = 2,75 \text{ В}$$

У такому випадку напруга на вході АЦП не буде перевищувати 3 В.

У разі якщо резистори подільника напруги рівні за номіналом ($R_1 = R_2$), тоді є справедливою наступна формула (2.2):

$$U_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{вх}} R_2}{(R_1 + R_2)} = \frac{U_{\text{вх}} R_2}{2R_2} = \frac{U_{\text{вх}}}{2}, \quad (2.2)$$

де $U_{\text{вих}}$ – вихідна напруга подільника напруги, В;

$U_{\text{вх}}$ – вхідна напруга подільника напруги, В.

Беручи до уваги отриманий вираз, необхідно обрати резистори з однаковими номіналами. Прийнято рішення використати резистори з номіналом 100 кОм.

Для того щоб визначити точність вимірюної напруги, необхідно визначити роздільну здатність АЦП мікроконтролера. Розрахувати роздільну здатність необхідно за формулою (2.3).

$$k = \frac{\Delta U}{2^N - 1}, \quad (2.3)$$

де k – роздільна здатність АЦП, В;

ΔU – напруга відносно землі, В;

N – розрядність АЦП.

Проаналізувавши документацію на обраний мікроконтролер визначено, що розрядність вбудованого АЦП дорівнює 12 біт [9]. Напруга відносно землі рівня 3,3 В.

Роздільна АЦП здатність буде рівна:

$$k = \frac{3,3 - 0}{4095} = 0,805 \text{ мВ}$$

Цього значення цілком достатньо для вимірювань рівня напруги акумулятора. Описані рішення використано для програмного керування процесом заряджання акумулятора за допомогою мікроконтролера. Також, з метою забезпечення стабілізації напруги на вході мікросхеми, виробник рекомендує розміщати керамічний конденсатор з ємністю 1 мкФ на вході мікросхеми, що виконано у схемі електричній принциповій.

2.2.6 Вибір та обґрунтування компонент для схеми переключення режимів живлення

Схема переключення напруги живлення будується на основі польового Р-канального транзистору, який працює у ключовому режимі. Для даного транзистора будуть важливі наступні критерії: тип, потужність розсіювання повинна складати більше 1,5 Вт, напруга V_{gs} більше 6 В, струм стоку більше 500 мА, низька вартість. За даними критеріями обрано транзистор з найменуванням IRF7604. Даний транзистор є р-типу.

У разі, коли до схеми підключено зовнішнє джерело живлення, вихідна напруга якого 5 В, напруга на затворі буде складати приблизно 5 В, польовий транзистор буде закрито. Відповідно буде заблоковано потік струму з акумулятора через високий опір каналу транзистора. У даному режимі струм буде протікати до компонент схеми безпосередньо. У разі відсутності джерела живлення, pull-down резистор притягне затвор до землі, опір каналу зменшиться, транзистор відкриється. У цьому разі на стоці транзистора виділиться напруга акумулятора, буде активовано режим роботи від акумулятора. Для детектування наявності джерела живлення, вхідну напругу під'єднано до подільника напруги, а його вихід з'єднано з піном мікроконтролера. Подільник напруги зображено на Рисунку 2.4.

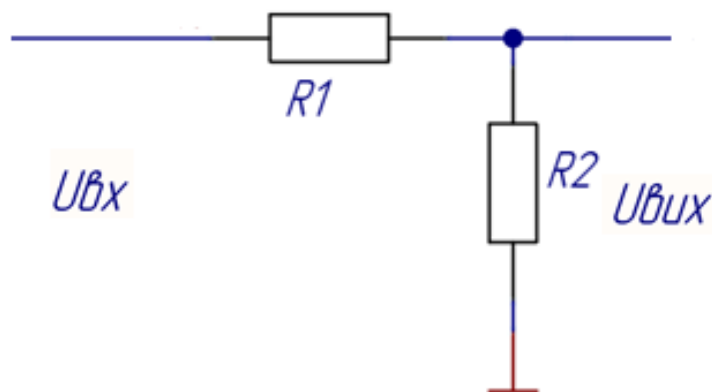


Рисунок 2.4 – Схема подільника напруги на резисторах

$$U_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{вх}} \cdot R_2}{(R_1 + R_2)}, \quad (2.4)$$

де $U_{\text{вих}}$ – вихідна напруга подільника напруги, В;

$U_{\text{вх}}$ – вхідна напруга подільника напруги, В;

R_1 та R_2 – числові значення резисторів, що відповідають схемі на Рисунку 2.4, Ом.

Скористаємось формулою 2.4 для розрахунку значення резистора R_2 , взявши за вихідні дані наступні параметри:

$$U_{\text{вх}} = 5 \text{ В}, \quad U_{\text{вих}} = 3,3 \text{ В}, \quad R_1 = 100 \text{ кОм}$$

З формули 1.4 виразимо R_2 та підставимо вихідні параметри.

$$R_2 = \frac{R_1}{\left(\frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} - 1\right)} = \frac{10^5}{\left(\frac{3,3}{2,8} - 1\right)} = 220 \text{ кОм}$$

Зі стандартних рядів резисторів, обираємо ряд E24, у якому найближче значення для резистору R_1 відповідає 100 кОм, а значення резистору R_2 – 220 кОм. Для обраного значення резистору R_2 напруга на виході подільника напруги буде дорівнювати 3,45 В. Ця величина напруги входить у діапазон логічних рівнів обраного МК.

Для зниження статичного живлення схеми, прийнято рішення додати польовий транзистор у коло живлення GSM модуля, який повинен працювати у ключовому режимі. Це дасть можливість вимикати GSM модуль за потребою за допомогою мікроконтролера, подавши на затвор логічну одиницю. Це повинно значно знизити струмове споживання, що подовжить термін роботи від акумулятора. Для керування живленням GSM модуля прийнято однаковий транзистор - IRF7604 .

2.2.7 Вибір та розрахунок мікросхеми стабілізатора напруги для живлення GSM модуля

Необхідно обрати перетворювач напруги, який буде мати найкращий КПД. Максимальний струм, який може видати джерело живлення складає 500 мА та напругу 5 В (за стандартом USB2.0). Тобто необхідно обрати перетворювач, що буде перетворювати напругу 5 В у напругу 4 В з найбільшою ефективністю. Відомо, що у разі, коли система вимагає добре стабілізованого виходу з низьким падінням напруги на керуючому елементі, а розсіювання потужності регулюється, то необхідний результат забезпечить саме стабілізатор напруги, що має назву “LDO” [12]. Визначивши необхідну величину вихідного струму, можна скласти перелік критеріїв для вибору перетворювача напруги. Необхідно проаналізувати існуючі стабілізатори LDO за наступними критеріями: можлива вхідна напруга не менша 6 В, вихідна напруга в околі 4 В, струм навантаження більше 210 мА, вартість.

У разі роботи від зовнішньої напруги, вихідного струму LDO може бути недостатньо через специфічне споживання струму обраного GSM модуля. З технічної документації на модуль SIM800L визначено, що пікове споживання струму у момент передачі може складати 2 А. Цей імпульс зображено на Рисунку 2.5. Середній струм споживання даного модуля у найгіршому випадку складає 453,57 мА при робочій напрузі живлення, що складає приблизно 4 В.

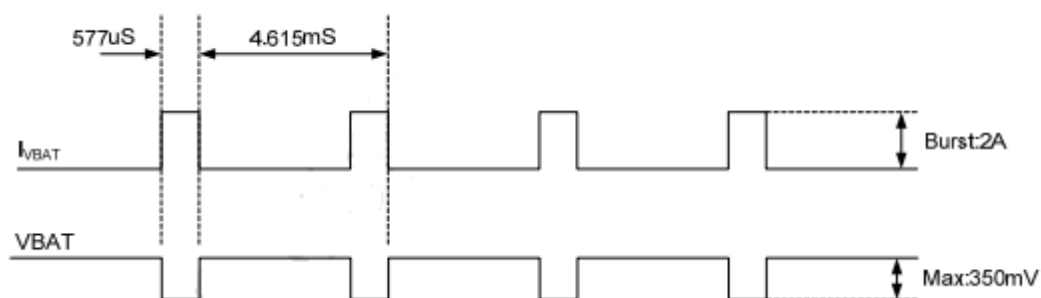


Рисунок 2.5 – Діаграма споживання струму GSM модулем

Для того щоб забезпечити необхідний вихідний струм з урахуванням можливого пікового навантаження, необхідно використати електричний конденсатор великої ємності. Тобто при необхідності, частина струму буде витікати з стабілізатору, а інша частина струму — з конденсатора. Для цього потрібно розрахувати необхідну величину ємності конденсатора, якої буде достатньо для забезпечення короткого пікового навантаження та розрахувати значення постійного струму, що буде спожито між цими імпульсами.

Розрахувавши значення мінімально необхідної величини струму навантаження стабілізатора, буде отримано основний критерій для вибору компонента, що буде перетворювати величину вихідної напругу джерела живлення у ту величину напруги, яка необхідна для живлення модуля.

Складемо рівняння (2.5), основується на діаграмі, що зображена на Рисунку 2.5.

$$I_{\text{сер}} = \frac{(i + \Delta I)0,577 + i(4,615 - 0,577)}{4,615}, \quad (2.5)$$

де i — постійний струм споживання, А;

ΔI — значення пікового струмового споживання, А;

$I_{\text{сер}}$ — рівень середнього споживання струму за період, А.

Відзначимо, що $\Delta I = 2$ А та $I_{\text{сер}} = 453,57$ мА. Виразимо мінімальний струм навантаження i :

$$i = I_{\text{сер}} - \frac{2 \cdot 0,577}{4,615} = 453,57 - \frac{2 \cdot 0,577}{4,615} = 0,204 \text{ А}$$

Мінімальний струм навантаження перетворювача для живлення GSM модуля $i \geq 0,204$ А.

Проаналізувавши ринок стабілізаторів та відсортувавши за потрібними критеріями, обрано LDO з найменуванням NCP5500DTADJRKG. Обраний стабілізатор вкладається в усі поставлені вимоги, а також має декілька

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 40 |

додаткових технічних переваг: можливість регулювання значення напруги на виході, що дасть змогу встановити необхідне значення за допомогою потрібних номіналів резисторів та наявність сигналу керування (EN), що дасть змогу вмикати обраний стабілізатор у разі коли вхід EN має високий логічний рівень. Для цього необхідно з'єднати вхід джерела живлення з входом "Enable". У разі коли присутня напруга джерела живлення, даний стабілізатор буде вмикатись автоматично і навпаки при зворотніх діях. Дане рішення використано у електричній принциповій схемі.

Розрахуємо необхідну ємність конденсатора за формулою (2.6):

$$I_c = C \frac{dU_c}{dt} \Rightarrow I_c \approx C \frac{\Delta U_c}{\Delta t}, \quad (2.6)$$

де C – ємність конденсатора, мкФ;

ΔU_c – напруга на конденсаторі, В;

Δt – час заряджання конденсатора, мс;

I_c – струм конденсатора, А.

Для часу заряджання Δt візьмемо значення з діаграми на Рисунку 2.5, що рівна 0,577 мс.

Виведемо струм конденсатора I_c що зображено рівнянні (2.7):

$$I_c = C \frac{(U_{\text{вих}} - U_{\text{мін}})}{0,577} \Rightarrow C_{\text{мін}} = \frac{I_c \Delta t}{U_{\text{вих}} - U_{\text{мін}}}, \quad (2.7)$$

де $U_{\text{мін}}$ – мінімально допустиме значення вхідної напруги для SIM800L, 3,4 В.

Виразимо струм конденсатора I_c за формулою (2.8):

$$I_c = 2 - (I_{\text{дж}} - i), \quad (2.8)$$

де $I_{\text{дж}}$ – значення вихідного струму джерела, А.

Максимальний струм живлення складає 500 мА. Врахувавши падіння напруги на елементах, візьмемо вихідний струм джерела 450 мА при подальших розрахунках.

Розрахуємо значення I_c :

$$I_c = 2 - 0,5 + 0,204 = 1,704 \text{ А}$$

У результаті мінімальна ємність $C_{\text{мін}}$ конденсатора розраховується за формулою:

$$C_{\text{мін}} = \frac{1,704 \cdot 577}{U_{\text{вих}} - 3,4} = \frac{1012}{U_{\text{вих}} - 3,4}$$

Для прийняття рішення про вибір необхідної ємності конденсатора, що забезпечить необхідний струм для стабільного живлення GSM модуля складемо таблицю 2.5. Дана таблиця складається з напруг живлення в околі 4 В, що буде прикладатися до GSM модуля та ємностей які їм відповідають.

Таблиця 2.5

| | | | |
|---------------------------------------|------|---------|---------|
| $U_{\text{вих}}, \text{ В}$ | 3,9 | 4 | 4,1 |
| $C_{\text{мін}}, \text{ мкФ}$ | 2024 | 1686,68 | 1445,71 |
| $C_{\text{мін}} \cdot 2, \text{ мкФ}$ | 4048 | 3373,33 | 2891,43 |

З таблиці 2.5 видно, що для напруги 4 В необхідно використати конденсатор з ємністю, що приблизно дорівнює 1700 мкФ. З точки зору впливу навколишнього середовища, є доречним використання конденсатора більшої ємності, наприклад 2200 мкФ. Враховуючи велике значення можливого допуску, найкращим рішенням для забезпечення такої ємності є електролітичний конденсатор. Це повинно збільшити стабільність системи у

разі якщо напруга живлення опуститься до 3,9 В. Обрано конденсатор серії LZ, з робочою напругою 6,3 В, робочою температурою від мінус 40° С до плюс 105° С, внутрішнім послідовним опором 0,02 Ом та допуском 20 %.

Спираючись на документацію на обраний стабілізатор напруги, вихідна напруга розраховується за формулою 2.9 [13].

$$v_{out} = \left(1,25 - \left[60 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{(R_1 R_2)}{(R_1 + R_2)} \right] \right) \cdot \left(\frac{(R_1 + R_2)}{R_2} \right) \quad (2.9)$$

де R_1 — значення резистора, з'єднаного між виходом v_{out} та входом “ADJ”, Ом;

R_2 — значення резистора між входом ADJ та входом GND, Ом.

Для розрахунку за основу взято резистор R_2 зі значенням 100 кОм. Використавши середовище Matlab, розраховано, що при напрузі $v_{out} = 3,986$ В значення резистору R_1 буде дорівнювати 220 кОм, що відповідає стандартному ряду резисторів E24.

У технічній документації на обраний GSM модуль вказано, що даний модуль допускає безпосереднє підключення до клем живлення літій-іонного акумулятора [14]. У ситуації коли пристрій повинен працювати від акумулятора, а точніше у разі включення резервного живлення, характеристик обраного акумулятора повинно бути достатньо для функціонування GSM модуля без додавання будь-яких мікросхем перетворення напруги. Тому до виходу обраного стабілізатора приєднано акумулятор для резервного живлення компонентів, що живляться від даного стабілізатора. З метою стабілізації напруги на вході мікросхеми стабілізатора, виробник рекомендує розміщати керамічний конденсатор з ємністю 10 мкФ, що виконано у електричній принциповій схемі.

2.2.8 Розрахунок кола живлення МК та опорних напруг

Для живлення таких компонент як опорні значення напруги та мікроконтролер необхідна величина постійної напруги, що складає 3,3 В.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 43 |

Беручи до уваги те, що для живлення цих вузлів використовуються вихідна напруга стабілізатора або напруга акумулятора (у разі резервного живлення). Напруга приблизно однакова, що рівна 4 В. Струм споживання цих вузлів буде складати не більше 10 мА. Напруга стабілізації 3,3 В. Виходячи з цього, обрано стабілітрон з найменуванням BZV55-C3V3. Для його застосування необхідно скористатись однією з класичних схем стабілізатора, що зображено на Рисунку 2.6 [15].

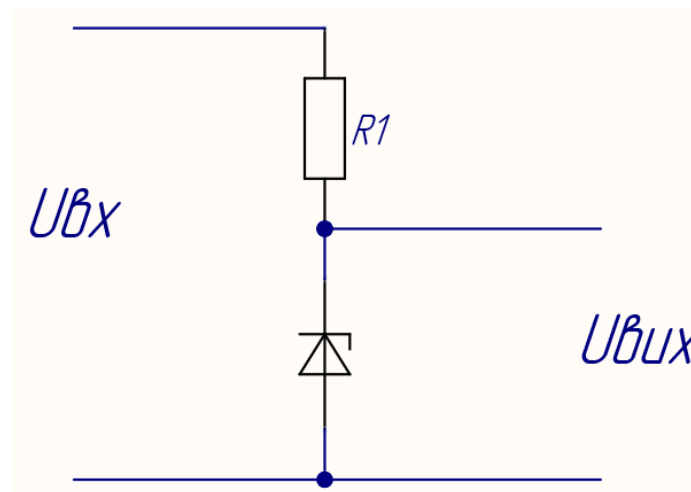


Рисунок 2.6 – Схема включення стабілітрона

Для розрахунку схеми зі стабілітроном необхідно розрахувати значення опору баластного резистора R_1 . За другим законом Кірхгофа розрахуємо напругу на резисторі R_1 . Складемо формулу (2.10).

$$U_{R_1} = U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}}, \quad (2.10)$$

де U_{R_1} – напруга на резисторі R_1 , В;

$U_{\text{вх}}$ – вхідна напруга, В;

$U_{\text{вих}}$ – вихідна напруга, В.

Вхідну напругу візьмемо як 4 В, а вихідну – 3,3 В.

Виразимо значення опору резистору R_1 за законом Ома у виразі 2.11.

$$R_1 = \frac{U_{R_1}}{I_{\text{нав}}} = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}}}{I_{\text{нав}}} \quad (2.11)$$

Розрахуємо значення опору R_1 :

$$R_1 = \frac{4 - 3,3}{0,01} = 170 \text{ Ом}$$

Розрахуємо потужність розсіювання:

$$P_{\text{роз}} = U_{R_1} \cdot I_{\text{нав}} = 1,7 \cdot 0,01 = 0,007 \text{ Вт}$$

Розрахуємо потужність розсіювання з подвійним запасом:

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{роз}} \cdot 2 = 0,014 \text{ Вт}$$

Найближчим за розрахованими значеннями є резистор 75 Ом з типорозміром 0402, максимальною потужністю з номінальною потужністю 0,063 Вт та допуском в 1 %.

2.2.9 Вибір резисторів

При виборі резисторів повинні бути враховані наступні критерії: номінальний опір, нормований допуск, розсіювана потужність, робоча температура, тип резистора, тип корпусу.

Враховуючи те що резистори у даній схемі виступають у якості компонент для функціонування інформаційних вузлів, доцільним є використання резисторів з розсіюваною потужністю не більше 0,05 Вт. Впливаючи з обраної потужності, можна обрати типорозмір. Обрано резистори типорозміром 0402, виходячи з обраної потужності і з метою зменшення розміру друкованої плати. Виходячи з того, що для даних вузлів

потрібні гарні характеристики, прийнято рішення використовувати резистори допуском 5 % і робочою температурою в діапазоні від мінус 55° С до плюс 155° С. За описаними критеріями обрано резистори виробника YAG.

Варто зазначити, що для усіх вузлів схеми де використовуються резистори, обрано резистори з номіналом, рівними 10^3 порядку. Це повинно значно знизити статичне споживання струму схемою. З іншого боку, можливо використання резисторів з більшим номіналом, але при цьому ці резистори матимуть більші допуски та більші паразитні параметри.

2.2.10 Вибір конденсаторів

При виборі конденсатора для розроблюваного пристрою враховуємо наступні критерії: значення ємності конденсатора, робоча напруга конденсатора, точність, тип конденсатора, робоча температура, тип корпусу.

Прийнято рішення, що найкращим рішенням є використання керамічних конденсаторів саме з SMD типом монтажу та типорозміром 0402. Перевагою даних конденсаторів є дуже малі розміри та широкий діапазон робочої напруги. Електролітичні конденсатори обрано з типорозміром Size D та Size C та SMD типом монтажу. Вони є дорожчими за звичні електролітичні конденсатори, але мають більший термін служби на менший послідовний опір.

2.2.11 Вибір та обґрунтування компонентів для узгодження логічних рівнів

Зважаючи на те, що GSM модуль та мікроконтролер мають різні логічні рівні для UART, необхідно розробити додаткову схему узгодження напруги логічних рівнів. Ця напруга дорівнює 3.3В для мікроконтролера та 2,8 В для GSM модуля. Для вирішення даної задачі використано схему подільника напруги, що зображено на Рисунку 2.4. За формулою розраховано значення обох резисторів подільника: $R_1 = 100 \text{ кОм}$, а значення $R_2 = 560 \text{ кОм}$ при вхідній напрузі, що дорівнює 3,3 В та вихідній, що дорівнює 2,8 В.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК62.425549.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 46 |

З технічної документації на обраний МК визначено, що напруга логічних рівнів зі сторони GSM модуля, а саме 2,8 В, входить у діапазон допустимих напруг обраного МК. Найнижче значення для обраного МК складає 2,4 В, при напрузі живлення 3,3 В, при кімнатній температурі. Тому у даному випадку додаткове узгодження рівнів не потрібно.

2.3 Розробка схеми детектування руху

ІЧ датчик руху складається з двох або більше піроелектричних елементів, які видають напругу, пропорційну величині падаючого інфрачервоного випромінювання. Кожна пара піроелектричних елементів з'єднана послідовно, таким чином вихідна напруга на кожному з них є рівною. Наприклад при кімнатній температурі або при відсутності руху, сумарна напруга цих елементів буде дорівнювати 0 В. Конструкцію такого датчика зображено на Рисунку 2.7.

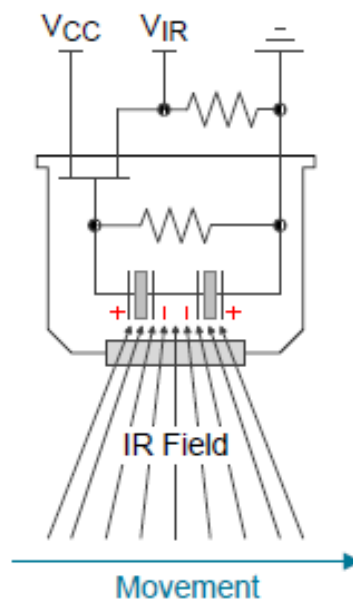


Рисунок 2.7 – Конструкція ІЧ датчика руху



Рисунок 2.8 – Вихідний сигнал ІЧ датчика руху

На Рисунок 2.8 зображено сигнал вихідної напруги, що виникає у результаті руху тіла паралельно поверхні датчика, тобто через поле зору обох піроелектричних елементів з температурою, що відрізняється від температури навколишнього середовища. Амплітуда вихідного сигналу цих елементів пропорційна швидкості руху та відстані об'єкта по відношенню до датчика і знаходиться у діапазоні від декількох мілівольт до декількох сотень мікрівольт або менше. МДП транзистор, зображений на Рисунок 2.7 використовується як буфер напруги і забезпечує зміщення постійного струму на виході датчика. Загалом цей транзистор інтегровано у самий датчик. Тому для того щоб перевести датчик у робочий режим необхідно з'єднати один з його входів до землі через резистор дуже великого номіналу. У схемі електричній принциповій використано резистор з номіналом 1.3 МОм.

Через невеликий розмір внутрішніх елементів датчика, робочий діапазон є дуже малим. Для того щоб його збільшити, перед PIR датчиком, зазвичай, розміщується лінза Френеля. Вона необхідна для того щоб сфокусувати усе ІЧ випромінювання в одній точці [12].

2.3.1 Розробка блок-схеми детектування руху

У стані спокою датчик руху підвищує рівень вихідної напруги до напруги робочої точки. Ця напруга складає близько 1,1 В та має вид, що зображено на Рисунку 2.9.

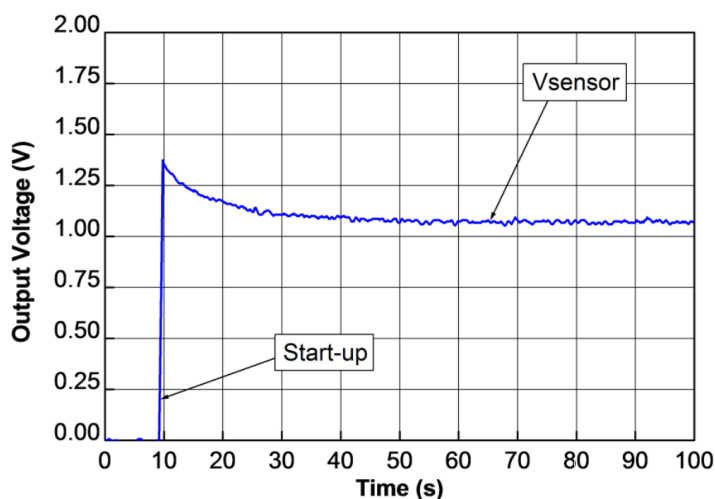


Рисунок 2.9 – Вихідний сигнал датчика руху

На Рисунку 2.9 зображено яку реакцію на рух має датчик. Далі на діаграмі видно дві реакції, тобто датчик спрацював двічі. Форма сигналу відповідає сигналу що зображено на Рисунку 2.8.

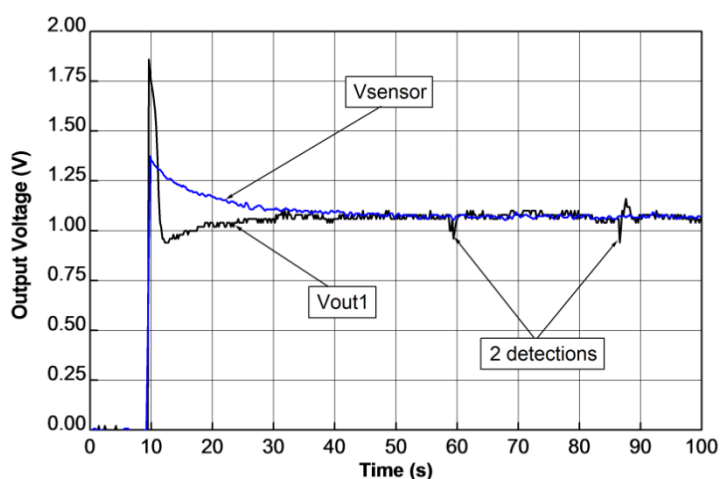


Рисунок 2.10 – Вихідний сигнал датчика руху у разі його спрацювання

Для правильної обробки даного сигналу необхідно відокремити інформаційні сплески від небажаного шуму для того щоб знизити вірогідність помилкового спрацювання. Тобто сигнал на певній частоті, а точніше у певному діапазоні частот, повинен бути підсилений, а сигнали на неінформаційних частотах (навколо) повинні бути заглушені. Загалом ця частота буде дорівнювати $1/T$, де T – швидкість руху людини. Необхідно обрати такий діапазон частот, який би дозволив коректно детектувати рух людини. Людина може рухатися швидко, а може повільно. Тому найкращий діапазон частот для переміщення людини приблизно від 0.5 Гц до 10 Гц [16].

Для вирішення даної задачі найкращим рішенням є використання активного полосового фільтра. Цей фільтр зображено як елемент блок-схеми на Рисунку 2.11.

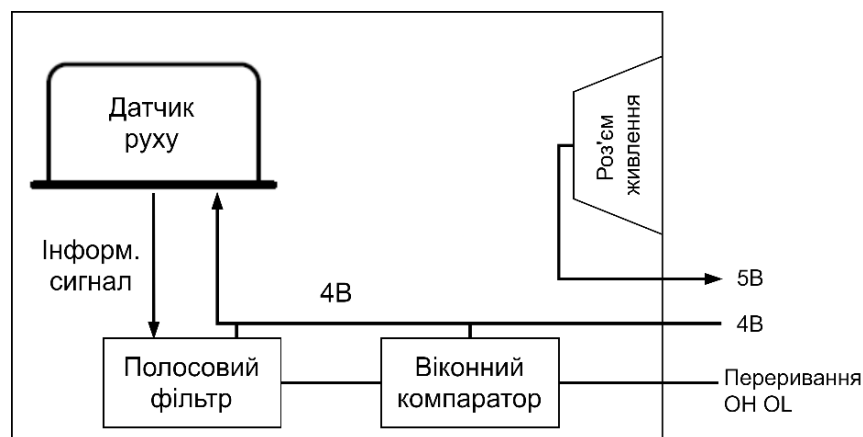


Рисунок 2.11 – Блок-схема детектування руху

Для того щоб виділити сигнал невідомої величини, необхідно використати схему порівняння напруг, яка змінюватиме свій логічний рівень при коливанні навколо опорної напруги. Для вирішення даної задачі прийнято рішення використовувати віконний компаратор, який зображено на блок-схемі (Рисунку 2.11) у вигляді окремого елемента. Тобто тракт детектування руху людини складається з вихідного сигналу датчика руху, полосового фільтра та віконного компаратора.

Живлення цієї схеми забезпечуються окремим контактом, який приходить від основної плати, а точніше з виходу схеми переключення типів живлення модуля безпроводового зв'язку. Діапазон робочих напруг елементів дозволяє використовувати саме цей рівень напруги.

2.3.2 Проєктування полосового фільтру

Даний фільтр будується двома етапами. На першому етапі схема відрізає постійну складову сигналу, фільтрує високочастотний шум, який може призвести до помилкових спрацювань та підсилює вхідний сигнал. Схему першого етапу зображено на Рисунку 2.12. Фільтрація шуму відбувається за допомогою компонент C2, R2, які знаходяться у колі зворотного зв'язку операційного підсилювача. Компоненти R1, C1 виступають у ролі схеми, що відрізає низькочастотну складову, тобто виступають у ролі фільтру високих частот (ФВЧ). Розрахуємо полосу пропускання та коефіцієнт підсилення даної схеми у середовищі Matlab для тих компонентів, номінали яких у широкому доступі.

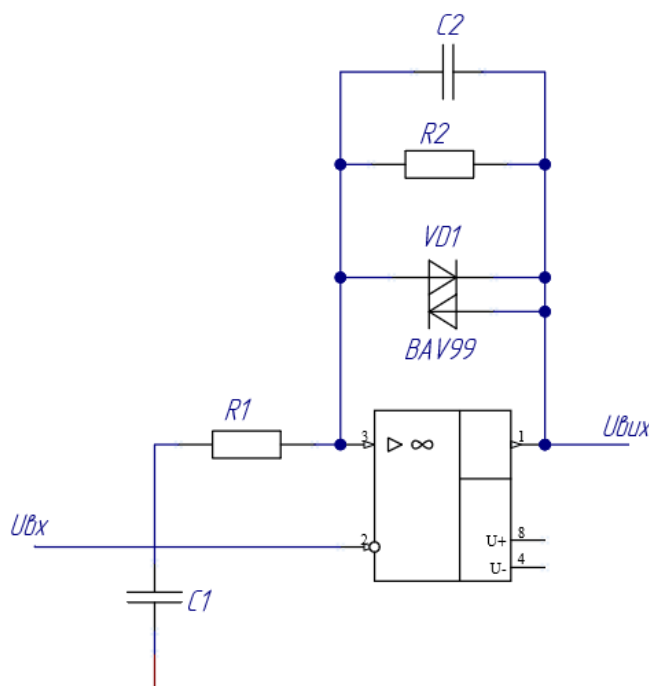


Рисунок 2.12 – Схема першого етапу обробки сигналу датчика

Розрахуємо верхню частоту зрізу за формулою (2.12):

$$f_{\text{в}} = \frac{1}{2\pi \cdot R_2 \cdot C_2}, \quad (2.12)$$

де $f_{\text{в}}$ – частота зрізу, Гц.

Для даного фільтру опір R_2 складає 680 кОм, а ємність C_2 – 22 нФ. Тоді верхня частота зрізу буде рівна:

$$f_{\text{в}} = \frac{1}{2\pi \cdot 680 \cdot 10^3 \cdot 22 \cdot 10^{-9}} = 10,64 \text{ Гц}$$

Нижня частота зрізу за формулою (2.12):

$$f_{\text{н}} = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 \cdot C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 680 \cdot 10^3 \cdot 22 \cdot 10^{-9}} = 0,56 \text{ Гц}$$

Розрахуємо коефіцієнт підсилення K_{u1} за формулою 2.13:

$$K_{u1} = \frac{R_2}{R_1} + 1 \quad (2.13)$$

Тоді K_{u1} рівний:

$$K_{u1} = \frac{680 \cdot 10^3}{13 \cdot 10^3} + 1 = 53,3$$

Розрахована схема підсилення дозволяє підсилити корисний сигнал та знизити амплітуду завад. Діоди VD1 необхідні для обмеження вихідної напруги на першому етапі, тим самим уникаючи можливості переходу у режим насичення.

Схему другого етапу зображено на Рисунку 2.13. Резистори R3–R6 зміщують робочу точку до $U_{жив} / 2$. Розрахуємо полосу пропускання та коефіцієнт підсилення даної схеми.

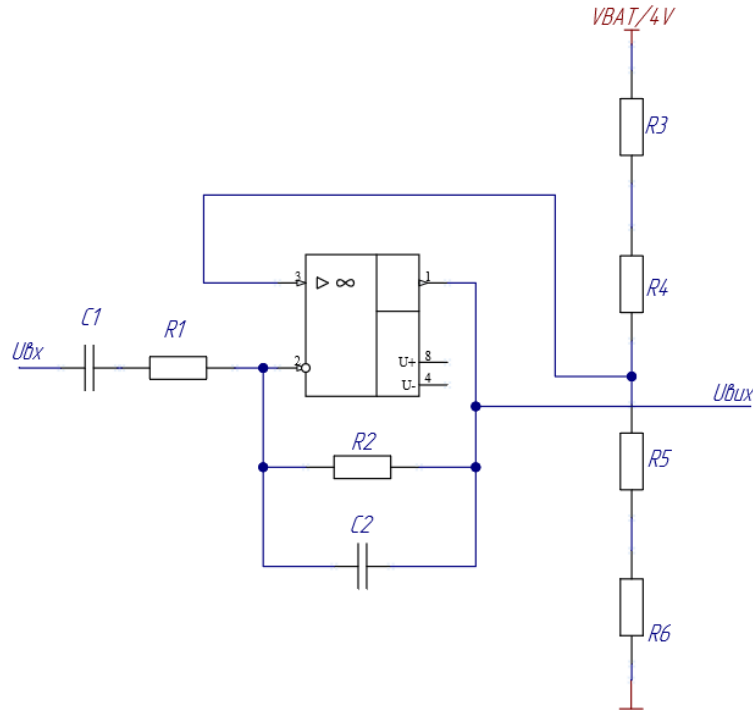


Рисунок 2.13 – Схема другого етапу обробки сигналу датчика

Для розрахунку верхньої частоти зрізу використаємо формулу 2.12:

$$f_{\text{в}} = \frac{1}{2\pi \cdot R_2 \cdot C_2} = \frac{1}{2\pi \cdot 680 \cdot 10^3 \cdot 22 \cdot 10^{-9}} = 10,64 \text{ Гц}$$

Тоді нижня частота зрізу рівна:

$$f_{\text{н}} = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 \cdot C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 680 \cdot 10^3 \cdot 22 \cdot 10^{-9}} = 0,56 \text{ Гц}$$

Коефіцієнт підсилення K_{u2} за формулою 2.13:

$$K_{u2} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (2.14)$$

Тоді K_{u2} рівний:

$$K_{u2} = -\frac{680 \cdot 10^3}{13 \cdot 10^3} = -52,3$$

Сумарний коефіцієнт підсилення за напругою рівний:

$$K_{u12} = K_{u1} \cdot K_{u2} = 53,3 \cdot 52,3 = 2787 \text{ (68 дБ)}$$

Отримані параметри показують, що розрахований фільтр має полосу пропускання від 0,56 Гц до 10,64 Гц з коефіцієнтом підсилення 2787, що відповідає значенню 68 дБ. На даному етапі фаза вхідного сигналу повертається на 90 градусів. Для того щоб отримати більш реальні параметри проведемо моделювання АЧХ даного фільтру у середовищі LTspice XVII.

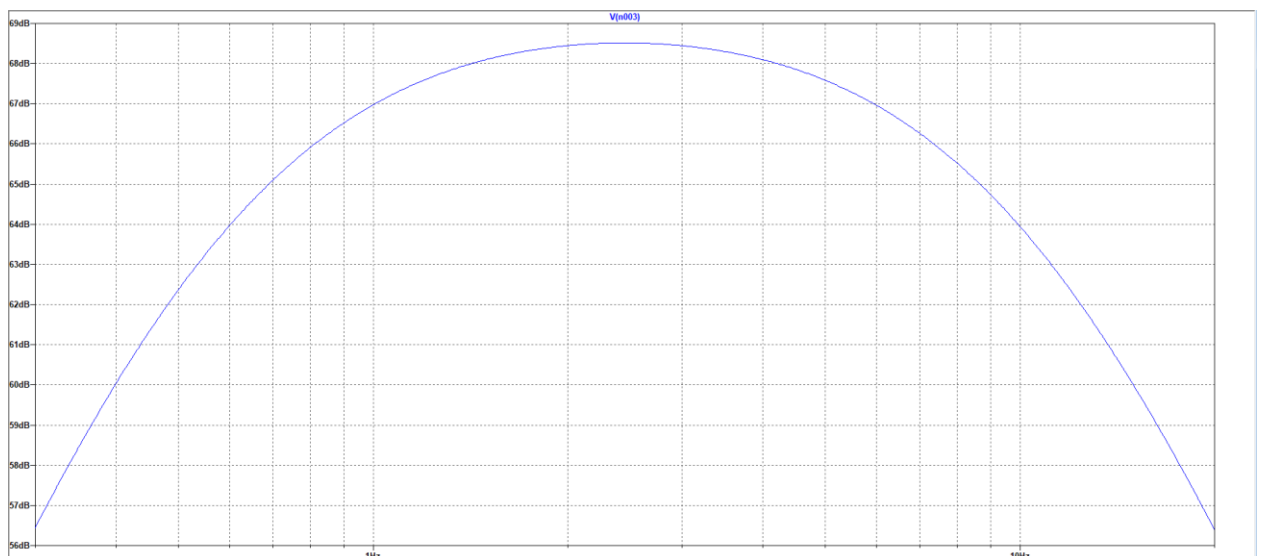


Рисунок 2.14 – Моделювання у частотній області у середовищі LTspice XVII

Отримане АЧХ зображено на Рисунку 2.14. Нижня частота зрізу для моделі відповідає 0,734 Гц, а верхня частота дорівнює 8,14 Гц. Дана полоса пропускання дещо відрізняється за рахунок паразитних параметрів використовуваних елементів, що враховуються при моделюванні. Але отриманий результат добре корелює з розрахунковим значенням, що каже про правильність розрахованих параметрів. Більше того, вихідний коефіцієнт підсилення цілком збігається з розрахунковим.

2.3.3 Проєктування віконного компаратора

Схему віконного компаратора показано на Рисунку 2.15. Компаратор перетворює аналоговий вихід полосового фільтру у цифрові імпульси, які використовуються як переривання для МК у якості повідомлення його про виявлення руху. Складений з резисторів R1–R4 подільник напруги встановлює пороги спрацювання датчика. Для економії ресурсів напруга з подільника напруги R3–R4 використовується як опорна напруга для другого етапу полосового фільтру.

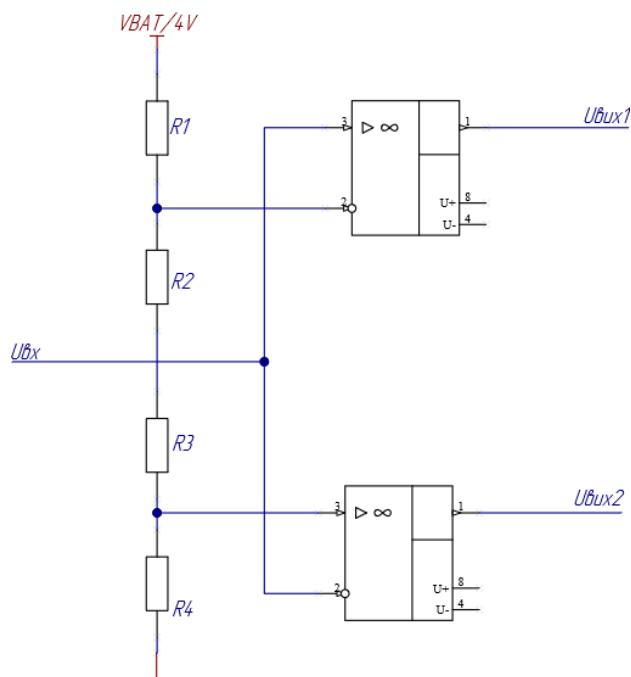


Рисунок 2.15 – Схема віконного компаратора

Розрахуємо порогові напруги $U_{\text{вих1}}$ та $U_{\text{вих2}}$ за формулами 2.15 та 2.16 [16].

$$U_{\text{вих1}} = U_{\text{жив}} \frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = 0,75U_{\text{жив}} \quad (2.15)$$

$$U_{\text{вих2}} = U_{\text{жив}} \frac{R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = 0,25U_{\text{жив}} \quad (2.16)$$

З отриманих значень виникає обмеження, що необхідно забезпечити рівність $R_1 + R_2 = R_3 + R_4$.

А саме для того, щоб зміщення підтримувалось на рівні $U_{\text{жив}}/2$. Вибрані для цієї схеми порогові є балансом між чутливістю та захищеністю від електромагнітного шуму. Розширення зменшує впливи шумів, але зменшує чутливість. Схема може не зреагувати на швидке переміщення людини. Якщо зробити діапазон занадто малим, це може призвести до помилкових спрацювань. Для того щоб мати уявлення про те як працює схема, проведено моделювання у часовій області у середовищі LTspice XVII, результат якого зображено на Рисунку 2.16.

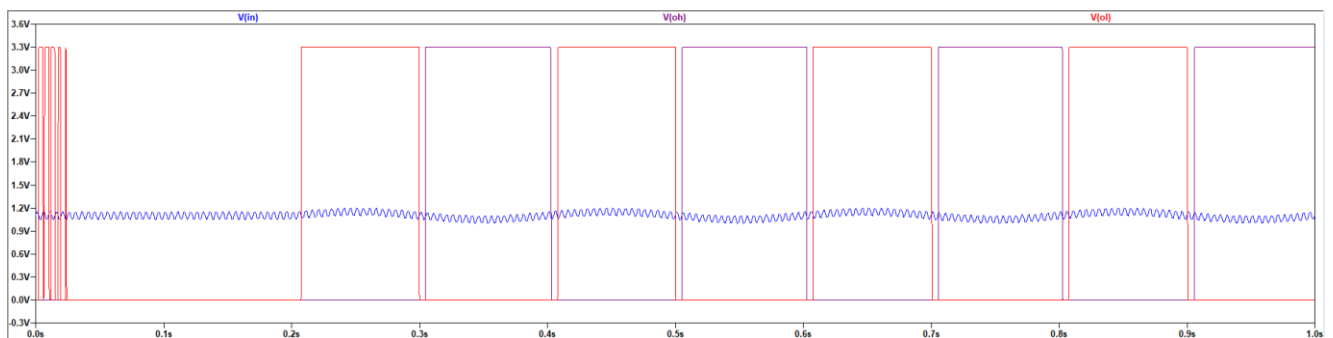


Рисунок 2.16 – Моделювання у часовій області у середовищі LTspice XVII

Вхідний сигнал є складним, тобто складається з набору простих, а саме зі значення джерела постійної напруги 1.1 В, що відповідає значенню спокою датчика руху; джерела синусоїдального сигналу з частотою 5 Гц та

амплітудою 0.05 В, тобто сигналу, частота якого входить у полосу пропускання полосового фільтру; джерела синусоїдального сигналу 200 Гц та амплітудою 0.05 В, тобто сигналу, частота якого не входить у полосу пропускання. Вхідний сигнал зображено на Рисунку 2.16 з назвою V(in). Вихідні сигнали зображено на Рисунку 2.16 з назвами V(oh) та V(ol), а саме відповідають напругам виходу $U_{\text{вих1}}$ та $U_{\text{вих2}}$ схеми на Рисунку 2.15. З діаграми видно, синусоїдальний сигнал з частотою 5 Гц з'явився з затримкою 0,2 секунди. Це необхідно для того щоб проаналізувати чи відпрацює схема у стані спокою саме датчика руху та проаналізувати вплив шуму. З діаграми видно, що на початку роботи схеми є помилкові спрацювання. Це відбулось через те, що схемі необхідний деякий час для того, щоб увійти у робочий режим, тобто стабілізуватись. У реальних датчиках руху час стабілізації може складати до 30 секунд, цим пояснюється зобов'язання використання резервного живлення. З початком роботи джерела низькочастотного сигналу видно, що схема відпрацьовує коректно та немає жодної реакції на вплив високочастотного джерела напруги. З отриманої діаграми видно, що вихідними сигналами є імпульси напруги з величиною $U_{\text{жив}}$. Імпульс V(oh) є умовно реакцією на низький рівень вхідного сигналу, а імпульс V(ol), є аналогічною реакцією на високий рівень. Поява саме обох сигналів вказує на те, що людина пройшла повз датчик. Обидва сигнали повинні бути використані у ролі зовнішніх переривань для мікроконтролера, тим самим сповіщаючи про наявність руху.

2.3.4 Вибір компонентів схеми детектування руху

Серед наявних резисторів обраних номіналів обрано SMD резистори з типорозміром 0603, допуском 1 %, номінальної потужністю 0,1 Вт. Конденсатори для цієї схеми використовуються керамічні з типом діелектрика X7R з типорозміром 0603 та SMD корпусом. Операційні підсилювачі обох елементів тракту обробки не повинні відрізнятися за параметрами, тому буде доречним обрати мікросхему, де інтегровано

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК62.425549.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 57 |

декілька підсилювачів. Для вибору ОП будуть важливі наступні критерії: напруга живлення 1,5–5 В, Rail-to-rail до вхід на вихід, полоса пропускання в околі 7-8 кГц, низький рівень споживання струму. За даними критеріями знайдено два ОП – TSU104 та TLV522DGKT. Через те що ОП з найменуванням TLV522DGKT є дешевшим, його використано для побудови даного модуля. Так як існуючі ІЧ датчики відрізняються тільки виробником, прийнято використовувати датчик RD-624 так як він є найдешевшим серед наявних.

Висновки до розділу

У даному розділі запропоновано блок-схему, яка відображає принцип взаємодії центральних вузлів схеми. Дана блок-схема складається з двох елементів – модуля детектування руху та модуля безпроводового зв'язку. У свою чергу перший модуль складається з ІЧ датчика руху та схеми, що обробляє та фільтрує його вихідний сигнал. Другий модуль складається зі схеми резервного, основного живлення та схеми їх переключень. Також даний блок включає у себе мікроконтролер у ролі основного обчислюваного ресурсу та GSM модуль, який встановлює з'єднання з віддаленим сервером.

GSM модуль потребує високу стабільність напруги живлення через можливі коротко тривалі сплески струму навантаження. Для забезпечення цим струмом розраховано ємність електролітичного конденсатора за лінією живлення. Через те що даний модуль потребує напругу живлення, що складає 4,2 В, прийнято рішення про використання стабілізатора напруги, який перетворює 5 В на вході у напругу 4.2 В. Для цього проведено додаткові розрахунки. Так як мікроконтролер та опорні значення потребують напруги 3,3 В, використано та розраховано класичну схему з використанням стабілітрона, до входу якого приєднується вихід стабілізатора напруги. Також розраховано подільник напруги для узгодження різних логічних рівнів. Дана схема також стала доречною для зниження рівня напруги акумулятора, для того щоб ця напруга не була вище опорного значення АЦП.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 58 |

Для модуля детектування руху спроектовано схему електричну принципову. У проєктування схеми увійшли розрахунки полоси пропускання полосового фільтра, порогові значення віконного компаратора та значення коефіцієнтів підсилення схеми. Дані розрахунки були підтверджені моделюванням у середовищі LTSpice XVII.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК62.425549.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 59 |

3 ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА

3.1 Вибір типу та матеріалу друкованої плати

Друкована плата являє собою пластину, виконану з певного діелектричного матеріалу, що має нанесені струмопровідні доріжки на поверхні і/або в об'ємі у відповідності зі схемою електричною принциповою.

Електронні компоненти монтуються на плату та з'єднується з провідною частиною за допомогою пайки. За своєю будовою друковані плати поділяються на односторонні – ОДП, двосторонні – ДДП та багат шарові – БДП. Для виготовлення плати розроблюваного пристрою прийнято рішення використання саме ДДП. Дана будова друкованої плати є найбільш прийнятною для схеми розроблюваного пристрою. При правильному проектуванні друкованої плати можливо забезпечити необхідний рівень завадостійкості та швидкодії. У схемі електричній принциповій не вбачається використання складних високочастотних сигналів для яких необхідні певні обмеження при проектуванні друкованої плати які можливо забезпечити при проектуванні БДП. Тому БДП буде цілком надлишковим для даної схеми через складність та вартість виготовлення. При використанні ОДП значно збільшиться розмір ДП та значно погіршаться електричні характеристики сигналів.

Виходячи з того що розроблюваний пристрій теоретично повинен мати можливість працювати при вуличних умовах, матеріал плати повинен забезпечити необхідну стабільність при наявності зовнішніх несприятливих механічних факторів, таких як вібрація, низькі або високі температури, тощо. Матеріал FR4 є високоякісним, вогнетривким, має прекрасні механічні та електричні властивості. Обрано товщину склотекстоліту рівною 1,5 мм, що повинно забезпечити високий рівень вібростійкості та з товщиною фольги 35 мкм.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 60 |

3.2 Вибір класу точності друкованої плати

По причині того що ГОСТ 23571-86 втратив чинність, прийнято рішення дотримуватись стандарту ГОСТ 53429-2009. Даний стандарт передбачає сім класів точності. Порівняння мінімальних номінальних значень кожного з класу точності відображена у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

| Параметр | Мінімальні номінальні значення параметрів для класу точності | | | | | | |
|-------------------------------|--|------|------|------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Ширина провідника, мм | 0,75 | 0,45 | 0,25 | 0,15 | 0,10 | 0,075 | 0,050 |
| Відстань між провідниками, мм | 0,75 | 0,45 | 0,25 | 0,15 | 0,10 | 0,075 | 0,050 |
| Гарантована ширина пояса, мм | 0,30 | 0,20 | 0,10 | 0,05 | 0,025 | 0,020 | 0,015 |

Є очевидним, що вищий клас точності напряму впливає на складність виробництва, а саме на його собівартість. Перший та другий класи точності доцільні при малій щільності розміщення дискретних компонентів і мікросхем. Третій клас використовують в основному для мікросхем із штирьовими виводами. Для поверхневого монтажу обирають зазвичай 4 або 5 клас точності.

У контексті розроблюваного пристрою, клас точності обрано з огляду на значення мінімальної відстані між сусідніми елементами на платі. Для обраного МК відстань між контактними майданчиками складає 0,25 мм. Зіставивши це значення зі значеннями з таблиці 3.1, зроблено висновок, що необхідно виробляти плату за третім класом точності. Але цей клас точності дуже велику ширину провідника у разі використання компонентів з

типорозміром 0603, тому прийнято рішення використовувати четвертий клас точності для виробництва даної ДП. При наявності вільного місця на друкованій платі допускається використання будь-якого нижчого класу точності, а для першого – збільшити у два рази. Так у колах живлення, землі та інших місцях де протікає струм з великим значенням прийнято рішення використовувати ширину трас більшу за мінімальну, а саме 0,5 мм. У місцях де необхідно виконати з'єднання SMD компонентів з типорозміром 0402 буде використано ширину провідників 0,1 мм.

Виходячи з вимог ГОСТ 53429-2009, крок координатної сітки обрано рівним 0,1 мм в якості номінального з нанесенням координатної сітки кожні 10 кроків. Центри отворів рекомендується розташовувати у вузлах координатної сітки.

3.3 Вибір методу виготовлення друкованої плати

Виходячи з того, що необхідно виготовити саме двосторонню ДП, прийнято рішення виготовляти ДП за комбінованим позитивним методом. За даним методом плата виготовляється з фольгованого діелектрика, провідний рисунок витравлюється хімічним методом, шляхом витравлювання незахищеного струмопровідного шару з поверхні діелектрика. Металізовані отвори створюються шляхом осадження міді на поверхню діелектрика.

Даний метод дозволяє виготовляти плати з досить маленькою шириною доріжок без пошкоджень, більшість фабрик з виробництва друкованих плат володіють даним методом через його поширеність та простоту, а також великий вихід справних плат через можливість якісного металізування отворів.

3.4 Розташування компонентів та трасування друкованої плати

У процесі проектування розроблюваного пристрою прийнято рішення про те, що пристрій повинен бути максимально мобільним, тобто усі блоки повинні знаходитись в одному корпусі. З цією метою стало необхідним

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК62.42554 9.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 62 |

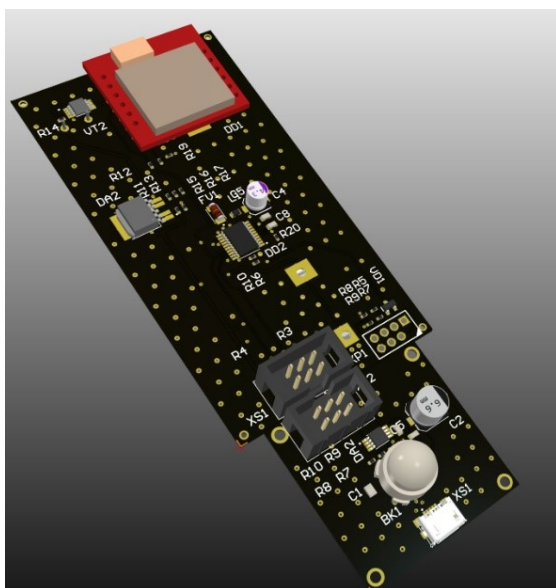
розташування акумулятора всередині пристрою. Для цього необхідно розмістити спеціалізовані клеми для монтажу акумулятора. При цьому необхідно зауважити, що довжина циліндричного акумулятора складає 65 мм. Тобто, розмістивши акумулятор у площині плати однієї зі сторін плати з'являється можливість для зменшення щільності компонентів. Це дозволить збільшити якість трасування та не щільного розміщення компонент з іншої сторони плати, а також забезпечити необхідну товщину ліній живлення, але при цьому довжини доріжок будуть довшими. Розроблюваний пристрій складається з двох друкованих плат, які повинні з'єднуватись гнучким шлейфом. Тому необхідно визначитись з положенням плат одна відносно одної у просторі. Прийнято рішення, що модуль детектування руху буде розташовано саме знизу модулю безпроводного зв'язку. Тому роз'єми для з'єднання гнучким шлейфом повинні знаходитись на краях обох плат. Саме для модуля безпроводного зв'язку даний роз'єм розташовано саме на нижньому краю плати. Після чого прийнято рішення про розташування мікроконтролера. Даний компонент розташовано у центрі плати через велику кількість зв'язків з іншими елементами плати. Через необхідність наявності зручного методу встановлення SIM картки, необхідно підібрати правильне розташування GSM модуля. Прийнято рішення розмістити даний модуль на краю верхньої сторони плати так щоб слот для SIM-карти був доступним у разі проєктування корпусу. Так як даний модуль є об'єктом з найбільшим споживанням струму, саме біля нього розташовано компоненти для забезпечення стабільного живлення – стабілізатор напруги, конденсатор великого розміру, керуючий транзистор, тощо.

У разі проєктування модулю детектування руху, прийнято рішення про розміщення датчика руху у центру друкованої плати. Дане рішення є широкоживаним у розробці подібних модулів. Модуль для з'єднання з іншою платою розміщено біля краю верхньої сторони плати. Між цими об'єктами розміщено інші компоненти з малою щільністю трасування з ціллю

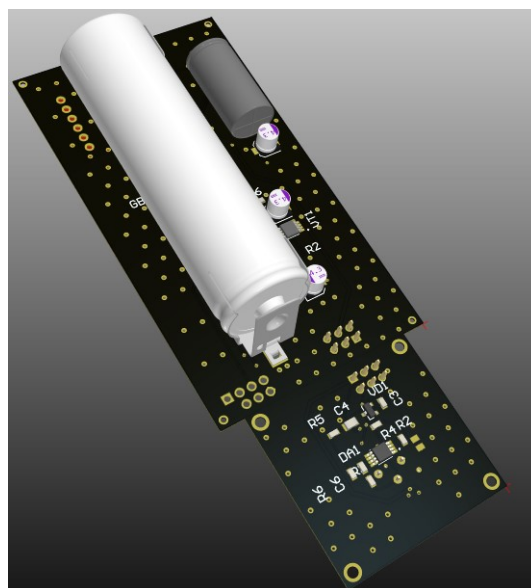
| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 63 |

зменшення розмірів ДП. На нижньому краю плати розміщено роз'єм для живлення.

Тобто, підсумувавши отримане розміщення, можна зробити висновок, що пристрій можна буде підключити до живлення під'єднавши живлення до роз'єму знизу, вставити SIM картку зверху та обидва модулі будуть з'єднуватись гнучким шлейфом завдяки розміщеним на обох платах спеціальних роз'ємів.



а



б

Рисунок 3.1 - Зображення верхньої (а) та нижньої (б) сторони друкованої плати

3.5 Вибір розмірів друкованої плати

Для того щоб досягти високої надійності друкованої плати, необхідно обрати правильні габаритні розміри. Стандарт ГОСТ 10379-17 встановлює основні розміри друкованих плат, допуски на розміри і прямокутність, крок координатної сітки і розміри отворів. За даним стандартом розмір кожної сторони друкованої плати повинен бути кратним 2,5 при довжині до 100 мм, 5 – при довжині до 350 мм, 10 – при довжині більше 350 мм. Також вказано,

що відхилення від перпендикулярності друкованої плати не повинно бути більше 0,2 мм на 100 мм довжини, а співвідношення лінійних розмірів не повинно бути більше ніж 3:1.

Виходячи з наявної щільності компонентів та необхідність свердління монтажних отворів, для модуля детектування руху ширина ДП та довжина складають 35 мм. Для безпроводового модуля зв'язку ширина складає 35 мм, а довжина 85 мм. Співвідношення висоти ДП до ширини є досить великим через наявність циліндричного акумулятора на платі. Обрані розміри задовольняють стандарту ГОСТ 10317-79.

Висновки до розділу

За результатом третього розділу визначено тип виготовлення та матеріал друкованої плати. Прийнято рішення виготовляти двосторонні друковані плати комбінованим позитивним методом. Плата повинна відповідати четвертому класу точності. Через те що розробляється система саме безпеки, то до пристрою виставляються високі вимоги якості та надійності, тому у даному розділі прийнято рішення виготовити основу ДП з матеріалу склотекстоліт FR-4-35-1.5. Даний матеріал є найбільш розповсюдженим матеріалом для виготовлення друкованих плат високої якості. Для складання креслень прийнято рішення про використання кроку координатної сітки у 1 мм. Спроековано друкований вузол у САПР Altium Designer, що дозволяє виконувати будь-які зміни на платі динамічно та відповідає вимогам поставленим у ТЗ.

Необхідність використання резервного живлення змусила збільшувати довжину модулю безпроводового зв'язку до розмірів циліндричного акумулятора. Через це отримано великі розміри друкованої плати, але з'явилась можливість розробити пристрій з необхідною шириною провідників та потрібним розміщенням компонентів.

З огляду на те, що необхідно отримати якомога менший прогин плати, проаналізовано стандарт ГОСТ 10317-79 та визначено критерії для вибору

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК62.42554 9.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 65 |

розмірів плати. Зважаючи на стандарт, прийнято рішення про використання наступних розмірів друкованих плат: 85 мм х 45 мм для модуля безпроводового зв'язку та 35 мм х 35 мм для модуля детектування руху.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-----------|
| | | | | | <i>ДК62.425549.001 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | <i>66</i> |

4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКОГО РІШЕННЯ

4.1 Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДМ

У розділі 3 прийнято рішення про розробку друкованих вузлів на двосторонніх платах, що виготовляються з вогнестійкого склотекстоліту FR-4 та товщиною мм за четвертим класом точності з використанням поверхневого монтажу. Розробка даних вузлів проходить в автоматизованій системі проєктування (САПР Altium Designer). Для проєктування плат та виконання трасування друкованого вузла, необхідно визначитись з конструктивними параметрами. Дані параметри складають набір правил для автоматичної перевірки дизайну плати, що будуть автоматично визначити допустимі межі друкованих з'єднань, відстаней між конструктивними елементами тощо. Для цього буде проведено конструкторсько-технологічні розрахунки.

Для розрахунку конструкторсько-технологічних елементів необхідно врахувати, що розроблюваний пристрій складається з двох друкованих плат – модуля безпроводового зв'язку та модуля детектування руху. У цілому, обидві друковані плати можна вважати одним об'єктом через те що обидві плати живляться одним джерелом напруги, мають спільні з'єднання та виготовляються за однаковим тех. процесом. Тому є доречним вважати обидва вузли одним цілим при розрахунку, але тільки у тих розрахунках де це є доречним.

4.1.1 Розрахунок мінімальної ширини друкованого провідника за постійним струмом для живлення

Розрахуємо мінімальну ширину друкованого провідника ланцюгів живлення для обраного матеріалу плати за формулою (4.1).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 67 |

$$b_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot d_{\text{пров}}}, \quad (4.1)$$

де I_{\max} – максимально можливий струм у ланцюгу, мм;

$j_{\text{доп}}$ – допустима щільність струму друкованого провідника, $\frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$;

$d_{\text{пров}}$ – товщина друкованого провідника, що визначається за виразом (4.2), мм.

Враховуючи ДП виготовляється за комбінованим позитивним методом), то $j_{\text{доп}}$ складає $4,8 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$.

$$d_{\text{пров}} = h_{\text{ф}} + h_{\text{ГМ}} + h_{\text{ХМ}}, \quad (3.2)$$

де $h_{\text{ф}}$ – товщина фольги, мм;

$h_{\text{ГМ}}$ – товщина гальванічно осадженої міді, мкм;

$h_{\text{ХМ}}$ – товщина шару хімічно осадженої міді, мкм.

Приймемо наступні значення товщин для виготовлення ДП: $h_{\text{ф}} = 35$ мм, $h_{\text{ГМ}} = 55$ мкм, $h_{\text{ХМ}} = 6,5$ мкм. Отже:

$$d_{\text{пров}} = 35 + 55 + 6.5 = 96,5 \text{ мкм} = 0,097 \text{ мм}$$

Максимальний струм I_{\max} візьмемо як струм GSM модуля 210 мА та струм для живлення МК – 10 мА, але з урахуванням струму паразитного навантаження необхідно взяти з запасом – 50 мА, тобто $I_{\max} = 250$ мА. У результаті, мінімальна ширина друкованого провідника за постійним струмом для ланцюгів живлення складає:

$$b_{\min} = \frac{0,25}{4,8 \cdot 0,097} = 0,54 \text{ мм}$$

Тобто мінімальна ширина доріжок живлення повинна складати 0,54 мм. Для більшої надійності є сенс використовувати ширину доріжок живлення 0,6 мм.

4.1.2 Розрахунок мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому обраховується за формулою (4.3).

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{U_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пр}}}, \quad (4.3)$$

де ρ – питомий об’ємний опір провідника, Ом $\frac{\text{мм}^2}{\text{м}}$;

$l_{\text{пр}}$ – довжина найдовшого друкованого провідника, мм;

$t_{\text{пр}}$ – товщина провідника, мм;

I_{max} – максимальний струм у провіднику, А.

Враховуючи виготовлення плати за комбінованим позитивним методом, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \frac{\text{мм}^2}{\text{м}}$. Товщина провідника ($t_{\text{пр}}$) складає 1 мм. Значення максимального струму у провіднику (I_{max}) визначено у розділі 2, воно складає 210 мА. Довжина найдовшого провідника ДП складає 102 мм (визначено за допомогою САПР Altium Designer), тобто $l_{\text{пр}} = 102 \text{ мм}$.

Цей провідник є лінією живлення з максимальною напругою 4,2 В, тому допустиме падіння напруги на цьому провіднику буде дорівнювати 5 % від 4,2 В, а саме:

$$U_{\text{доп}} = 0,05 \cdot 4,2 = 0,21 \text{ В}$$

Отже мінімальна ширина провідника живлення буде рівна:

$$b_{minU} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot l_{пр}}{U_{доп} \cdot t_{пр}} = \frac{0,0175 \cdot 0,21 \cdot 0,102}{0,21 \cdot 0,01} = 0,017 \text{ мм}$$

Для даної лінії живлення використано ширину провідника 0,6 мм. Виходячи з отриманого значення мінімальної ширини провідника – 0,017 мм, зроблено висновок, що параметр обрано вірно.

4.1.3 Розрахунок номінального діаметру монтажного отвору

GSM модуль монтується на друковану плату за допомогою PLS-2 роз'ємів. З технічної документації на модуль визначено, що номінальний діаметр цього отвору рівний 1 мм. Проаналізувавши інші отвори, визначено, що вони теж рівні 1 мм.

Номінальний діаметр монтажного отвору визначається за формулою (4.4).

$$d \geq d_{ве} + \Delta d_{МО} + r, \quad (4.4)$$

де $d_{ве}$ – діаметр виводу елемента, для якого визначається діаметр монтажного отвору, а саме для PLS-2 роз'єму, мм;

$\Delta d_{МО}$ – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО, мм;

r – різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елемента, мм.

Для даної ДП приймемо $d_{ве} = 0,7$ мм, $\Delta d_{МО} = 0,1$ мм, а $r = 0,1 - 0,2$ мм.

$$d_{pls} \geq d_{ве} + \Delta d_{МО} + r = 0,7 + 0,1 + 0,2 = 1 \text{ мм}$$

Для ІЧ датчика розміри наступні: $d_{ве} = 0,5$, $\Delta d_{МО} = 0,1$, $r = 0,05$.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 70 |

$$d_{pir} \geq d_{ве} + \Delta d_{MO} + r = 0,5 + 0,1 + 0,05 = 0,75 \text{ мм}$$

Отже, діаметр монтажного отвору для ІЧ датчика повинен складати 0,75 мм, а для усіх інших роз'ємів – 1 мм.

4.1.4 Розрахунок максимального та мінімального діаметрів контактної майданчика

Діаметр контактної майданчика розраховується за формулою (4.5):

$$D_{min} = D_{min1} + 1,5h_{\phi} + 0,03, \quad (4.5)$$

де D_{min1} – мінімальний ефективний діаметр контактної майданчика, мм,
 h_{ϕ} – товщина фольги, мм.

Товщина фольги для плати, чий параметри розраховуються, складає 35 мкм.

$$D_{min1} = 2 \left(b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км} \right), \quad (4.6)$$

де d_{max} – максимальний діаметр просвердленого отвору в ДП, мм;
 $b_{по}$ – ширина пояски КМ для четвертого класу точності, мм;
 δ_o – похибка розташування центру отвору відносно вузла К, мм;
 $\delta_{км}$ – похибка розташування центру КМ відносно вузла КС, мм.

Для четвертого класу точності похибка δ_o рівна 0,07 мм, а $\delta_{км}$ – 0,05 мм.

Максимальний діаметр просвердленого отвору ДП розраховується за формулою (4.7):

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (4.7)$$

де d – номінальний діаметр монтажного отвору, мм;
 Δd – відхилення від номінального діаметру монтажного отвору, мм.

За обраним класом точності $\Delta d = 0,05$ мм.

Отже, розрахуємо діаметр контактного майданчику для ІЧ датчика.

$$d_{max} = d_{pir} + \Delta d + (0,1 \dots 0,15) = 0,75 + 0,05 + 0,1 = 0,9 \text{ мм}$$

$$D_{min1} = 2(b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км}) = 2(0,05 + \frac{0,9}{2} + 0,07 + 0,05) = 1,24 \text{ мм}$$

$$D_{min} = D_{min1} + 1,5h_{\phi} + 0,03 = 1,24 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,32 \text{ мм}$$

Тому максимальний діаметр контактного майданчика наступний:

$$D_{max} = D_{min} + 0,02 = 1,32 + 0,02 = 1,34 \text{ мм}$$

Проведемо аналогічний розрахунок для PLS-2, де $d = 1$ мм.

$$d_{max} = d_{pls} + \Delta d + (0,1 \dots 0,15) = 1 + 0,05 + 0,1 = 1,15 \text{ мм}$$

$$D_{min1} = 2(b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км}) = 2(0,05 + \frac{1,15}{2} + 0,07 + 0,05) = 1,49 \text{ мм}$$

$$D_{min} = D_{min1} + 1,5h_{\phi} + 0,03 = 1,49 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,57 \text{ мм}$$

Тому максимальний діаметр контактного майданчика наступний:

$$D_{max} = D_{min} + 0,02 = 1,57 + 0,02 = 1,59 \text{ мм}$$

4.1.5 Розрахунок мінімальної та максимальної ширини провідника

Мінімальна ширина провідника розраховується за формулою (4.8):

$$b_{min} = b_{пр}^r + 1,5h_{\phi} + 0,03, \quad (4.8)$$

де $b_{пр}^r$ — мінімальна ширина провідника, мм;

h_{ϕ} — товщина фольги, мм.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК62.425549.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 72 |

Максимальна ширина провідника розраховується за формулою (4.9):

$$b_{max} = b_{min} + 0,02 \quad (4.9)$$

Згідно четвертому класу точності, ширина $b_{пр}^r$ рівна 0,15 мм. Отже:

$$b_{min} = b_{пр}^r + 1,5h_{\phi} + 0,03 = 0,15 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,23 \text{ мм}$$

Максимальна ширина провідника:

$$b_{max} = b_{min} + 0,02 = 0,23 + 0,02 = 0,25 \text{ мм}$$

4.1.6 Розрахунок мінімальної відстані між провідником та контактним майданчиком

Мінімальна відстань між провідником та контактним майданчиком розраховуються за формулою (4.10):

$$l_{ПКМ\ min} = L_0 - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп} \right), \quad (4.10)$$

де $L_0 = 1,15$ мм – відстань між центрами отворів та друкованим провідником;

D_{max} – максимальний діаметр КМ, мм;

b_{max} – максимальна ширина провідника, мм;

$\delta_{км}$ – похибка розташування КМ, мм;

$\delta_{сп}$ – похибка зміщення провідника, мм.

Приймемо наступні розміри для розрахунку: $D_{max} = 1,8$ мм, $b_{max} = 0,25$ мм, $\delta_{км} = 0,05$ мм, а $\delta_{сп} = 0,05$ мм. Отже шукане значення рівне:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 73 |

$$l_{ПКМ\ min} = L_0 - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп} \right) = 1,2 - \left(\frac{1,6}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,175\ \text{мм}$$

4.1.7 Розрахунок мінімальної відстані між краями двох сусідніх провідників

Мінімальна відстань між краями двох сусідніх провідників розраховується за формулою (4.11):

$$l_{пп\ min} = L_0 - (b_{max} + 2\delta_{сп}), \quad (4.11)$$

де L_0 — найменша відстань між КП, мм.

Найменша відстань між КП рівна 0,5 мм.

$$l_{пп\ min} = L_0 - (b_{max} + 2\delta_{сп}) = 0,5 - (0,25 + 2 \cdot 0,05) = 0,15\ \text{мм}$$

4.2 Електричний розрахунок друкованої плати

Враховуючи, що розроблюваний пристрій складається з окремих вузлів — двох двосторонніх друкованих плат, розрахунки у даному розділі будуть проводитись для кожної з них окремо. Обидві ДП виготовляються з однакового матеріалу та за однаковим тех. процесом.

4.2.1 Визначення падіння напруги на найдовшому провіднику

Виконавши перетворення формули (4.3), можна вивести формулу для визначення максимального та питомого падіння напруги на друкованих провідниках. Значення питомого падіння напруги використовуються в процесі розробки ДП для контролю електромагнітної сумісності під час трасування друкованих провідників. Максимально допустиме падіння напруги визначається з наступної формули (4.12):

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}}}, \quad (4.12)$$

де ρ – питомий об’ємний опір провідника, Ом $\frac{\text{мм}^2}{\text{м}}$;

$l_{\text{пр}}$ – максимальна довжина друкованого провідника, мм;

$b_{\text{пр}}$ – товщина найдовшого провідника, мм;

I_{max} – максимальний струм споживання схеми, А.

Враховуючи виготовлення плати за комбінованим позитивним методом, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \frac{\text{мм}^2}{\text{м}}$. Прийmemo визначені раніше параметри $l_{\text{пр}} = 102 \text{ мм}$, $b_{\text{пр}} = 0.6 \text{ мм}$, $I_{\text{max}} = 210 \text{ мА}$.

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}}} = \frac{0,00175 \cdot 0.210 \cdot 0,102}{0,0006} = 62 \text{ мВ}$$

Розраховане значення напруги, що виділяється на найдовшому провіднику не перевищує значення 5 % від напруги, що прикладається до цього провідника.

4.2.2 Розрахунок потужності діелектричних втрат друкованої плати

Потужність діелектричних втрат розраховують за формулою (4.13):

$$P_{\text{вт}} = 2\pi f \cdot C_{\text{max}} \cdot E_{\text{жив}}^2 \cdot \text{tg}\delta, \quad (4.13)$$

де f – робоча частота на якій проводиться розрахунок;

C_{max} – абсолютний максимум власної ємності плати, мкФ;

$E_{\text{жив}}$ – напруга живлення, В;

$\text{tg}\delta$ – тангенс кута діелектричних втрат матеріалу.

За напругу живлення для обох плат прийнято напругу 5 В. Тангенс кута діелектричних втрат складає величину 0,002 для матеріалу FR-4 з яких виготовлено обидві плати. Через дуже малий вплив шару паяльної маски, нею можна нехтувати про розрахунках даного параметру.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 75 |

Власна ємність плати розраховується за наступною формулою (4.14):

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h}, \quad (4.14)$$

де ε – діелектрична проникність матеріалу плати (без урахування діелектричної проникності нанесеної паяльної маски), Фм^{-1} ;

S_m – площа металізації, мм^2 ;

h – товщина друкованої плати, мм .

Величина діелектричної проникності для обраного матеріалу складає $4,5 \text{ Фм}^{-1}$. Також обидві плати мають однакову товщину – $1,5 \text{ мм}$. Загальна площа металізації для модуля безпроводового зв'язку складає 7157 мм^2 , а для модуля детектування руху – 1935 мм^2 .

Розрахуємо власну ємність плати для модуля безпроводового зв'язку:

$$C_{\text{мбз}} = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h} = \frac{0,009 \cdot 4,5 \cdot 7157}{1,5} = 0,193 \text{ нФ}$$

Розрахуємо власну ємність плати для модуля детектування руху:

$$C_{\text{мдр}} = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h} = \frac{0,009 \cdot 4,5 \cdot 1935}{1,5} = 0,052 \text{ нФ}$$

За робочу частоту плати модуля безпроводового зв'язку прийнято 16 МГц – максимальна частота внутрішнього генератора тактової частоти обраного мікроконтролера. Плата модуля детектування руху містить аналогову схему, що оперує аналоговим сигналом. Частота з найбільшою амплітудою коливань складає 12 Гц .

Розрахуємо потужність діелектричних втрат для модулю безпроводового зв'язку:

$$P_{\text{вт-мбз}} = 2\pi \cdot 10^6 \cdot 0,193 \cdot 10^{-9} \cdot 5^2 \cdot 0,002 \approx 61 \text{ мкВт}$$

Проведемо аналогічний розрахунок для модулю детектування руху:

$$P_{\text{вт-мдр}} = 2\pi \cdot 12 \cdot 0,052 \cdot 10^{-9} \cdot 5^2 \cdot 0,002 \approx 1,96 \text{ нВт}$$

З отриманих розрахунків () можна зробити висновок, що навіть при завищених допущеннях у розрахунках плата має дуже малу величину діелектричних втрат.

4.2.3 Розрахунок ємності між двома сусідніми провідниками, що мають однакову ширину та розташовані на одній стороні ДП

Величина шуканої ємності розраховується за наступною формулою (4.15):

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \left[\lg \frac{2S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1}, \quad (4.15)$$

де ε — стала діелектричної проникності ДП матеріалу FR-4, Фм^{-1} ;

S — відстань між двома паралельними провідниками, мм;

$b_{\text{пр}}$ — ширина друкованого провідника, мм;

$t_{\text{пр}}$ — товщина друкованого провідника, мм;

$l_{\text{пр}}$ — довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників.

Для обраного матеріалу ДП (FR-4) діелектрична проникність рівна $3,5 \text{ Фм}^{-1}$. Визначимо вищезгадані параметри: $S = 0,25 \text{ мм}$, $b_{\text{пр}} = 0,15 \text{ мм}$, $t_{\text{пр}} = 0,035 \text{ мм}$, $l_{\text{пр}} = 20 \text{ мм}$.

$$C = 0,12 \cdot 3,5 \cdot 20 \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot 0,25}{0,15 + 0,035} \right]^{-1} = 19,45 \text{ пФ}$$

За результатом розрахунку можна зробити висновок, що параметри доріжок значною мірою не впливають на ємнісні параметри.

4.2.4 Розрахунок взаємної індуктивності двох паралельних друкованих провідників однакової довжини

Дана величина розраховується за наступною формулою (4.16):

$$M = 0,02 \cdot \left(l_{\text{пр}} \cdot \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + L_0 \right) \quad (4.16)$$

де $l_{\text{пр}}$ – довжина перекриття паралельних провідників, мм;

L_0 – відстань між вісьовими лініями двох паралельних провідників, мм.

Для розроблюваної плати $l_{\text{пр}}$ рівний 20 мм, а L_0 – 0,1 мм.

$$M = 0,02 \cdot \left(20 \lg \frac{\sqrt{20^2 + 0,1^2} + 20}{0,1} - \sqrt{20^2 + 0,1^2} + 0,1 \right) \approx 0,53 \text{ нГн}$$

З отриманого значення можна зробити висновок, що поточні параметри взаємної індуктивності не значно впливають на працездатність друкованих вузлів.

4.3 Розрахунок надійності розроблюваного пристрою

Оцінка величини надійності РЕА є однією з обов'язкових процедур, що виконується на етапі проєктування РЕА. Актуальність розрахунку надійності ґрунтується на тому, що вони дають відповідь на питання доцільності подальших витрат на доопрацювання технології і виробництва радіoeлектронних пристроїв.

Основними параметрами та характеристиками надійності є:

– вірогідність відмов – $Q(t)$;

- середній час напрацювання до першої відмови – $T_{\text{сер}}$;
- інтенсивність відмов – $\lambda(t)$;
- вірогідність безвідмовної роботи – $P(t)$.

При математичному описі відмов використовуються експоненціальний закон розподілення (формула 4.17):

$$P(t) = 1 - Q(t) = e^{-\lambda t}, \quad (4.17)$$

де величина інтенсивності відмов λ є обернено-пропорційною до величини середнього часу напрацювання на відмову, тому $T_{\text{сер}}$ розраховуються наступним чином (формула 4.18):

$$\lambda = \frac{1}{T_{\text{сер}}} \frac{1}{\text{год}} \quad (4.18)$$

Інтенсивність відмов залежить від режиму роботи та величині впливу зовнішнього середовища. Особливо гостро питання інтенсивності відмов стоїть у разі проєктування пристроїв військової та цивільної техніки, від нормальної роботи яких залежить життя людей (наприклад датчики на АЕС, пілотажно-навігаційне обладнання літаків, кораблів і т.п.) або порушення роботи яких може призводити до великих матеріальних втрат. Для таких пристроїв використовуються точні математичні моделі залежності величини інтенсивності відмов λ від багатьох факторів експлуатації. Для проєктування споживацької апаратури достатнім є застосування моделей наступного вигляду:

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot K_n \cdot K_m, \quad (4.19)$$

де λ_0 – інтенсивність відмов елементу за нормальних експлуатаційних умов, год^{-1} ;

K_H – коефіцієнт навантаження, що чисельно рівний відношенню використовуваного навантаження на елемент до його нормального навантаження;

K_M – коефіцієнт моделі, що визначається максимальним відхиленням поточної інтенсивності відмов від номінальної. Для різних типів елементів коефіцієнт навантаження K_H розраховується за співвідношенням різних величин:

- для конденсаторів відношення напруг – $K_H = \frac{V_{роб}}{V_{макс}}$;
- для резисторів відношенням потужностей – $K_H = \frac{P_{роб}}{P_{макс}}$;
- для аналогових мікросхем відношенням потужностей – $K_H = \frac{P_{роб}}{P_{макс}}$;
- для діодів відношенням прямих струмів – $K_H = \frac{I_{пр}}{I_{прмакс}}$;
- для стабілітронів відношенням зворотніх струмів – $K_H = \frac{I_{зв}}{I_{звмакс}}$;
- для транзисторів відношенням потужностей – $K_H = \frac{P_{роб}}{P_{макс}}$;
- для цифрових мікросхем кількістю логічних вентилів – $K_H = N^{0,54}$.

Для розрахунку інтенсивності відмов усього пристрою використовується сума усіх інтенсивностей відмов кожного елементу, що впливає на надійність та розраховується за формулою (4.20) [17]:

$$\lambda_{ел} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (4.20)$$

Результуюча інтенсивність відмов розраховується за наступною формулою (4.21):

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{ел} \quad (4.21)$$

Виконаємо розрахунки параметрів надійності для обох плат. Для цього складемо розрахункову таблицю інтенсивності відмов для модуля безпроводового зв'язку. Результат відображено у таблиці 4.1 [18].

Таблиця 4.1 – Розрахункова таблиця інтенсивності відмов плати МБЗ

| Елемент | Кіль- ть | $\lambda_0 \cdot 10^{-6},$ год ⁻¹ | K_H | K_M | $\lambda_i \cdot 10^{-6},$ год ⁻¹ | $\lambda_{\Sigma} \cdot 10^{-6},$ год ⁻¹ |
|------------------------------|-------------|---|-------|-------|---|--|
| Конденсатор 0402 | 2 | 0,3 | 0,08 | 3 | 0,072 | 0,144 |
| Конденсатор 0603 | 1 | 0,1 | 0,08 | 3 | 0,024 | 0,024 |
| Конденсатор Size C | 4 | 0,5 | 0,42 | 3 | 0,63 | 2,52 |
| Конденсатор ECAP | 1 | 0,6 | 0,667 | 5 | 2,001 | 2,001 |
| Резистор 0402 | 20 | 0,32 | 0,08 | 3 | 0,0768 | 1,536 |
| Транзистор IRF7604 | 2 | 0,8 | 0,267 | 6 | 1,2816 | 2,5632 |
| Стабілітрон BZV55 | 1 | 0,57 | 0,66 | 4 | 1,5048 | 1,5048 |
| Діод BAT54 | 1 | 0,65 | 0,1 | 4 | 0,26 | 0,26 |
| МК STM32L0104 | 1 | 0,145 | 1 | 5 | 0,725 | 0,725 |
| GSM модуль | 1 | 0,223 | 1 | 5 | 1,115 | 1,115 |
| Стабізатор напруги NCP5500 | 1 | 0,2 | 1 | 5 | 1 | 1 |
| Мікросхема заряджання MCP738 | 1 | 0,9 | 0,6 | 5 | 2,7 | 2,7 |
| Контакти роз'ємів | 28 | 0,03 | 0,01 | 4 | 0,0012 | 0,0336 |
| Клеми акумулятора | 2 | 0,03 | 0,01 | 1 | 0,0003 | 0,0006 |

Продовження таблиці 4.1

| Елемент | Кіль- ть | $\lambda_0 \cdot 10^{-6},$ год ⁻¹ | K_H | КМ | $\lambda_i \cdot 10^{-6},$ год ⁻¹ | $\lambda_{\Sigma} \cdot 10^{-6},$ год ⁻¹ |
|--|-------------|---|-------|----|---|--|
| Металізовані перехідні отвори | 170 | 0,013 | 1 | 1 | 0,013 | 2,21 |
| Друкована плата | 1 | 0,1 | 1 | 1 | 0,1 | 0,1 |
| Пайка выводів | 130 | 0,005 | 1 | 1 | 0,005 | 0,65 |
| Сумарна інтенсивність відмов, $\lambda_p \cdot 10^{-6}, \text{год}^{-1}$ | | | | | | 19,08 |

Для розрахунку середнього часу напрацювання до відмови підставимо отримане значення у формулу (4.18).

$$T_{\text{сер-мбз}} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{19,08 \cdot 10^{-6}} \approx 52410 \text{ год}$$

Отримавши середній час напрацювання до відмови, розрахуємо вірогідність безвідмовної роботи за три роки за формулою (4.17):

$$P(3 \text{ роки}) = e^{-\lambda_p t} = e^{-19,08 \cdot 10^{-6} \cdot 26280} \approx 0,60$$

Тепер можна розрахувати вірогідність відмов через 3 роки, що становитиме:

$$Q(3 \text{ роки}) = 1 - P(3 \text{ роки}) = 1 - 0,60 = 0,40 = 40 \%$$

Проведемо аналогічний розрахунок для модулю детектування руху. Складемо розрахункову таблицю інтенсивності. Результат відображено у таблиці 4.2 [18].

Таблиця 4.2 – Розрахункова таблиця інтенсивності відмов плати МДР

| Елемент | Кіль- ть | $\lambda_0 \cdot 10^{-6},$ год ⁻¹ | K _н | K _м | $\lambda_i \cdot 10^{-6},$ год ⁻¹ | $\lambda_{\Sigma} \cdot 10^{-6},$ год ⁻¹ |
|--|-------------|---|----------------|----------------|---|--|
| Конденсатор 0603 | 5 | 0,1 | 0,4 | 2 | 0,08 | 0,4 |
| Конденсатор Size D | 1 | 0,8 | 0,42 | 2 | 0,672 | 0,672 |
| Резистор 0603 | 8 | 0,4 | 0,8 | 2 | 0,64 | 5,12 |
| Діод BAV99 | 1 | 0,23 | 0,8 | 8 | 1,472 | 1,472 |
| Тепловий датчик RD-624 | 1 | 0,1 | 0,4 | 9 | 0,36 | 0,36 |
| ОП TLV522 | 2 | 0,9 | 0,01 | 4 | 0,036 | 0,072 |
| Контакти роз'ємів | 6 | 0,5 | 0,01 | 4 | 0,02 | 0,12 |
| Клеми акумулятора | 2 | 0,03 | 0,01 | 1 | 0,0003 | 0,0006 |
| Металізовані перехідні отвори | 47 | 0,013 | 1 | 1 | 0,013 | 0,611 |
| Друкована плата | 1 | 0,1 | 1 | 1 | 0,1 | 0,1 |
| Пайка виводів | 75 | 0,005 | 1 | 1 | 0,005 | 0,375 |
| Сумарна інтенсивність відмов, $\lambda_p \cdot 10^{-6},$ год ⁻¹ | | | | | | 9,3026 |

Для розрахунку середнього часу напрацювання до відмови підставимо отримане значення у формулу (4.18).

$$T_{\text{сер-мбз}} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{9,3026 \cdot 10^{-6}} \approx 100 \text{ тис. год}$$

Отримавши середній час напрацювання до відмови, розрахуємо вірогідність безвідмовної роботи за три роки за формулою (4.17):

$$P(3 \text{ роки}) = e^{-\lambda_p t} = e^{-9,3026 \cdot 10^{-6} \cdot 26280} \approx 0,78$$

Тепер можна розрахувати вірогідність відмов через 3 роки, що становитиме:

$$Q(8760) = 1 - P(8760) = 1 - 0,78 = 0,22 = 22 \%$$

Результати показали, що для пристрою обрано технічні рішення, що задовольняють високим вимогам надійності, які можуть висуватися системам безпеки.

4.4 Розрахунок рівня віброміцності друкованого вузла

Складемо таблицю (табл. 4.3) з вхідними даними для розрахунку віброміцності розроблюваного пристрою обох друкованих плат – модуля бездротового зв'язку та модуля детектування руху. Усі розрахунки будуть проведені для обох плат відповідно.

Таблиця 4.3 - Вхідні дані для розрахунку рівня віброміцності

| Модуль детектування руху | | Модуль безпроводового зв'язку | |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------|
| Параметр | Значення | Параметр | Значення |
| Матеріал | FR-4 | Матеріал | FR-4 |
| Закріплення плати, кількість сторін | 4 | Закріплення плати, кількість сторін | 4 |
| Довжина плати – a , м | 0,085 | Довжина плати – a , м | 0,085 |
| Ширина плати – b , м | 0,035 | Ширина плати – b , м | 0,045 |
| Товщина плати – h , м | 0,0015 | Товщина плати – h , м | 0,0015 |
| Часовий опір – σ_m , МПа | 105 | Часовий опір – σ_m , МПа | 105 |
| Модуль Юнга – E , Па | $3,2 \cdot 10^{10}$ | Модуль Юнга – E , Па | $3,2 \cdot 10^{10}$ |
| Коефіцієнт Пуассона – μ | 0,22 | Коефіцієнт Пуассона – μ | 0,22 |

Продовження таблиці 4.3

| Параметр | Значення | Параметр | Значення |
|---|------------------|---|------------------|
| Показник затухання – ε | 0,06 | Показник затухання – ε | 0,06 |
| Густина – $\rho, (\frac{\text{кг}}{\text{м}^3})$ | 2050 | Густина – $\rho, (\frac{\text{г}}{\text{см}^3})$ | 2,05 |
| Питома густина – $\nu, (\frac{\text{Н}}{\text{м}^3})$ | $2,5 \cdot 10^4$ | Питома густина – $\nu, (\frac{\text{Н}}{\text{м}^3})$ | $2,5 \cdot 10^4$ |
| Коефіцієнт запасу міцності n | 2 | Коефіцієнт запасу міцності n | 2 |

Для розрахунку віброміцності складено таблиці з сумарною масою елементів, що містять обидві плати. Для модуля безпроводового зв'язку складено таблицю 4.4, для модуля детектування руху – таблиця 4.5

Таблиця 4.4 – Кількість та маса елементів МБЗ

| Модуль безпроводового зв'язку | | | | |
|-------------------------------|----------------|---------|---------|------------------|
| Елемент | Найменування | Кіль-ть | Маса, г | Загальна маса, г |
| Конденсатори | Size C 10мкФ | 2 | 0,45 | 0,9 |
| | Size C 2200мкФ | 1 | 2 | 2 |
| | C-0402 100н | 1 | 0,04 | 0,04 |
| | Size C 1мкФ | 1 | 0,34 | 0,34 |
| | C-0402 100н | 1 | 0,04 | 0,04 |
| | Size C 10мкФ | 1 | 0,56 | 0,56 |
| | C-0603 100нФ | 1 | 0,04 | 0,04 |
| Резистори 0402 | 0402 0,063 Вт | 20 | 0,04 | 0,8 |
| Роз'єми | BH-6 | 1 | 0,32 | 0,32 |
| Транзистори | IRF7604 | 2 | 0,2 | 0,4 |
| | MCP73811 | 1 | 0,14 | 0,14 |

Продовження таблиці 4.4

| Елемент | Найменування | Кіль-ть | Маса, г | Загальна маса, г |
|-------------------------------------|------------------------|---------|---------|------------------|
| Мікросхеми | NCP5500DTADJRKG | 1 | 4 | 4 |
| | SIM800L та Роз'єми PLS | 1 | 6 | 6 |
| | STM32L010F4 ST | 1 | 1,2 | 1,2 |
| | MCP73811 | 1 | 0,14 | 0,14 |
| Стабілітрон | BZV55-C3V3 NEX-NXP | 1 | 0,18 | 0,18 |
| Котушка індуктивності | SMD 0603 8мкГн | 1 | 0,1 | 0,1 |
| Діоди | BAT54,215 | 1 | 0,25 | 0,25 |
| Батарея | 18650-keystone | 1 | 35 | 35 |
| Загальна маса елементів – m_e , г | | | | 52,31 |

Таблиця 4.5 – Кількість та маса елементів МДР

| Модуль детектування руху | | | | |
|--------------------------|-----------------|---------|---------|------------------|
| Елемент | Найменування | Кіль-ть | Маса, г | Загальна маса, г |
| Теплові датчики | RD-624 Winson | 1 | 0,06 | 0,06 |
| Конденсатори | C-0603 22 мкФ | 1 | 0,06 | 0,06 |
| | Size D 100 мкФ | 1 | 0,56 | 0,56 |
| | C-0603 22 нФ | 1 | 0,06 | 0,06 |
| | C-0603 22 мкФ | 1 | 0,06 | 0,06 |
| | C-0603 100 нФ | 1 | 0,06 | 0,06 |
| | C-0603 22 нФ | 1 | 0,06 | 0,06 |
| Резистори 0402 | R-0603 0,125 Вт | 10 | 0,06 | 0,6 |

Продовження таблиці 4.5

| Елемент | Найменування | Кіль-ть | Маса, г | Загальна маса, г |
|-------------------------------------|--------------|---------|---------|------------------|
| Діоди | BAV99 | 1 | 0,05 | 0,05 |
| Роз'єми | ВН-6 | 1 | 0,32 | 0,32 |
| Загальна маса елементів – m_e , г | | | | 1,89 |

Розрахуємо масу друкованої плати за формулою (4.22).

$$m_{\text{дп}} = \rho V = \rho_{FR-4} \cdot (a \cdot b \cdot h) \quad (4.22)$$

Для МБЗ маса плати наступна:

$$m_{\text{дп-мбз}} = \rho_{FR-4} \cdot (a \cdot b \cdot h) = 2,05 \cdot 4,5 \cdot 8,5 \cdot 0,15 = 11,7 \text{ г}$$

Проведемо аналогічний розрахунок маси плати для МДР:

$$m_{\text{дп-мдр}} = \rho_{FR-4} \cdot (a \cdot b \cdot h) = 2,05 \cdot 3,5 \cdot 3,5 \cdot 0,15 = 3,8 \text{ г}$$

Власну частоту вібрацій плати розраховують за наступною формулою (4.23):

$$f_{\partial n} = \frac{K_{\alpha}}{2\pi \cdot a^2} \cdot \sqrt{\frac{Dg}{\rho h}}, \quad (4.23)$$

де K_{α} – коефіцієнт, що залежить від способу кріплення плати;

a – довжина плати, м;

g – прискорення вільного падіння, $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$;

D – циліндрична жорсткість плати, $\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{м}}$;

ρ – густина матеріалу плати, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Для розрахунку частоти вільних коливань друкованих плат використовують метод Релея-Рітца. Цей метод дозволяє врахувати масу радіоелементів, розміщених на платі і отримати співвідношення для розрахунку частоти вільних коливань плати за будь-яких крайових умовах. Формула, що відповідає даному методу наступна (формула 4.24):

$$f_0 = \frac{K_\alpha}{2\pi a^2} \sqrt{\frac{D}{m}}, \quad (4.24)$$

де m – маса радіоелементів та друкованої плати приведені до площі поверхні, кг.

Дана величина розраховується за формулою (4.25):

$$m = \frac{m_{\text{дп}}}{S_{\text{п}}} \quad (4.25)$$

де $S_{\text{п}}$ – площа поверхні плати, мм^2 .

Розрахуємо даний параметр для обох плат:

$$m_{\text{мбз}} = \frac{m_{\text{дп-мбз}}}{S_{\text{п-мбз}}} = \frac{0,0117}{85 \cdot 10^{-3} \cdot 35 \cdot 10^{-3}} = 3,9 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$
$$m_{\text{мдр}} = \frac{m_{\text{дп-мбз}}}{S_{\text{п-мбз}}} = \frac{0,0038}{35 \cdot 10^{-3} \cdot 35 \cdot 10^{-3}} = 3,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Розрахуємо невідомі коефіцієнти. Розрахунок жорсткості D виконується за наступною формулою (4.26):

$$D = \frac{Eh^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)}, \quad (4.26)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона для матеріалу плати;

E – модуль Юнга, Па;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 88 |

d – ширина плати, м.

Дані величини відображено у таблицях 4.3 та 4.4.

Виконаємо розрахунок:

$$D_{\text{дп}} = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} = \frac{3,2 \cdot 10^{10} \cdot 0,0015^3}{12 \cdot (1 - 0,22^2)} = 2,8 \text{ Нм}$$

Враховуючи те, що плата закріплюється на чотири сторони формула для розрахунку коефіцієнту K_α буде наступний [18]:

$$K_\alpha = 22,37 \sqrt{1 + 0,61 \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}}$$

де a – більша сторона плати;

b – менша сторона плати.

Розрахуємо даний коефіцієнт для обох плат:

$$K_{\alpha-\text{мдз}} = 22,37 \sqrt{1 + 0,61 \frac{0,085^2}{0,045^2} + \frac{0,085^4}{0,045^4}} = 89,2$$

$$K_{\alpha-\text{мдр}} = 22,37 \sqrt{1 + 0,61 \frac{0,035^2}{0,035^2} + \frac{0,035^4}{0,035^4}} = 36,1$$

Тепер є можливість розрахувати власну частоту вібрацій друкованих плат:

$$f_{\text{дп-мбз}} = \frac{K_{\alpha-\text{мдз}}}{2\pi \cdot a^2} \cdot \sqrt{\frac{Dg}{\rho h}} = \frac{89,2}{2\pi \cdot 0,085^2} \cdot \sqrt{\frac{2,8 \cdot 9,81}{2050 \cdot 0,0015}} = 5870 \text{ Гц}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК62.425549.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 89 |

$$f_{\text{дп-мдр}} = \frac{K_{\alpha-\text{мрз}}}{2\pi \cdot a^2} \cdot \sqrt{\frac{Dg}{\rho h}} = \frac{36,1}{2\pi \cdot 0,035^2} \cdot \sqrt{\frac{2,8 \cdot 9,81}{2050 \cdot 0,0015}} = 14017 \text{ Гц}$$

Розрахуємо частоту вібрацій з урахуванням маси елементів на обох платах:

$$f_{0-\text{мбз}} = \frac{K_{\alpha-\text{мдз}}}{2\pi a^2} \cdot \sqrt{\frac{D}{m_{\text{мбз}}}} = \frac{89,2}{2\pi \cdot 0,085^2} \cdot \sqrt{\frac{2,8}{3,9}} = 1665 \text{ Гц}$$

$$f_{0-\text{мдр}} = \frac{K_{\alpha-\text{мдз}}}{2\pi a^2} \cdot \sqrt{\frac{D}{m_{\text{мдр}}}} = \frac{36,1}{2\pi \cdot 0,035^2} \cdot \sqrt{\frac{2,8}{3,15}} = 4422 \text{ Гц}$$

З отриманих розрахунків видно, що конструкції з розроблюваними платами є абсолютно жорсткими через дуже велике значення частоти власних коливань як плати без елементів, так і плати з елементами. Умова жорсткості конструкції виконується якщо власна частота складає більше 250 Гц.

4.5 Розрахунок теплового режиму

Розрахунок теплового режиму виконано для найбільш навантажених компонентів схеми: стабілізатора напруги та мікросхеми контролю заряджання акумулятора.

4.5.1 Розрахунок теплового режиму стабілізатору напруги

Важливо відмітити, що визначений максимальний допустимий струм навантаження для обраного стабілізатору складає 500 мА. З технічної документації визначено, що ефективність обраного стабілізатору при падінні напруги на 1 В складає 90 %. Тобто можна вважати, що вихідний струм навантаження складає 450 мА. Виходячи з цього, необхідно розрахувати

величину максимальної розсіюваної потужності за формулою (4.27) з технічної документації на обраний стабілізатор [13].

$$P_{d(max)} = [V_{in(max)} - V_{out(min)}] I_{out(max)} + V_{in(max)} I_{GND}, \quad (4.27)$$

де $P_{d(max)}$ – потужність розсіювання, Вт;

$V_{in(max)}$ – вхідна напруга, В;

$V_{out(min)}$ – вихідна напруга, В;

$I_{out(max)}$ – максимальний струм навантаження схеми, мА;

$I_{GND} = 15$ мА.

Вхідна напруга складає 5 В, а вихідна 4 В. Максимальний струм навантаження для даного стабілізатору складає 210 мА.

Розрахуємо дану величину:

$$P_d = [5 - 4] \cdot 210 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 0.285 \text{ Вт}$$

Виходячи з розрахованої потужності, необхідно розрахувати температуру стабілізатору при максимальному навантаженні за формулою (4.28):

$$T = P_d R_t + T_A, \quad (4.28)$$

де R_t – тепловий опір, $^{\circ} \frac{\text{C}}{\text{Вт}}$;

T_A – температура навколишнього середовища, $^{\circ} \text{C}$.

Тепловий опір складає $60^{\circ} \frac{\text{C}}{\text{Вт}}$. Температуру навколишнього середовища приймемо за 25°C . Тоді температура стабілізатору:

$$T = 0,285 \cdot 60 + 25 = 42,1^{\circ} \text{C}$$

Розраховувавши дану величину, порівняємо з максимально допустимою температурою, взятої з технічної документації. Величина за якою почнеться руйнування внутрішньої будови мікросхеми стабілізатору складає 80° С. Тобто, можна зробити висновок, що корпус даного LDO є прийнятним для, а також, що найголовніше, даний стабілізатор здатен забезпечити необхідне значення струму на своєму виході.

4.5.2 Розрахунок теплового режиму мікросхеми контролю заряджання акумулятора

Дана мікросхема поставляється у корпусі SOT-23-5. Необхідно розрахувати потужність розсіювання за формулою (4.29).

$$P_d = (U_{\text{вхмакс}} - U_{\text{бат}}) \cdot I_{\text{зармакс}}, \quad (4.29)$$

де $U_{\text{вхмакс}}$ — максимальна вхідна напруга, В;

$U_{\text{бат}}$ — падіння напруги, В;

$I_{\text{зармакс}}$ — максимальний струм заряджання, мА .

Вхідну напругу приймемо за 6 В (з розрахунку на те, що насправді вхідна напруга складає 5 В), падіння напруги на мікросхемі за документацією складає 2,7 В, а струм виходу приймемо за 500 мА (при максимальному значенні 480 мА).

Тому:

$$P_d = (U_{\text{вхмакс}} - U_{\text{бат}}) \cdot I_{\text{зармакс}} = (5 - 2,7) \cdot 0,5 = 1,15 \text{ Вт}$$

За документацією на обрану мікросхему, дана розсіювана потужність є цілком прийнятною для даного корпусу, а тому перегріву мікросхеми бути не може [11].

Висновки до розділу

У розділі виконано розрахунок основних параметрів надійності розроблюваного пристрою:

- конструкторсько-технологічний розрахунок ДК: розрахунок мінімального ширини друкованого провідника з урахуванням напруги падіння на ньому, розрахунок номінальних діаметрів, розрахунок мінімальної відстані між провідниками, розрахунок мінімальної відстані між контактними майданчиками;
- електричний розрахунок, що включає у себе: розрахунок падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику, розрахунок потужності діелектричних втрат друкованої плати, розрахунок ємності між сусідніми провідниками, розрахунок паразитної індуктивності;
- розрахунок віброміцності конструкції;
- розрахунок теплового режиму;
- розрахунок параметрів надійності.

Розраховані значення дозволяють стверджувати про те, що дані конструкторсько-технологічні рішення прийнято правильно, що дозволить розмістити пристрій у незахищених середовищах. Пристрій працює у такому режимі, що він не потребує будь-якого виду охолодження. Розраховані параметри надійності показали, що з вірогідністю 60 % пристрій працюватиме три роки безвідмовно.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 93 |

5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

5.1 Розробка функціональної блок-схеми

Розробка будь-якого програмного забезпечення починається з проєктування архітектури або блок схеми алгоритму. Блок-схема алгоритму роботи розроблюваного пристрою зображено на Рисунку 5.1.

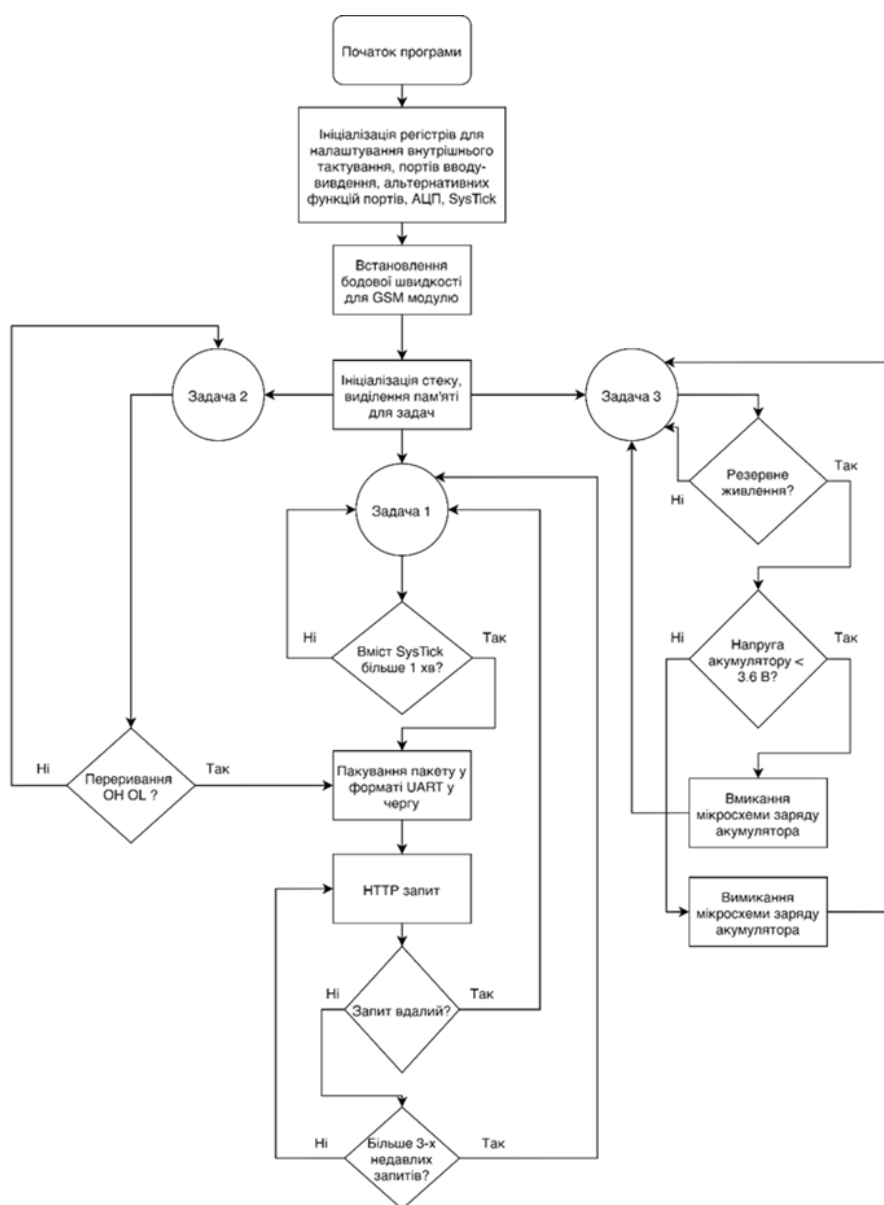


Рисунок 5.1 – Блок-схема алгоритму роботи пристрою

Для функціонування розроблюваного пристрою прийнято рішення використовувати програмне забезпечення на основі операційної системи м'якого реального часу. Причина використання даного підходу полягає у

використанні правильних підходів до синхронізації даних, оптимального використання ресурсів, що у свою чергу, повинно значно знизити рівень споживання струму. У системах такого типу затримка реакції вважається такою, що може бути будь-яким чином відновленою та не вважається критичною. У разі якщо система не встигла обробити прийнятий пакет, це призведе до зупинки на передавальній стороні і спробі виконати повторну передачу.

Після подачі живлення, внутрішній загрузчик мікроконтролера починає виконання програми, що зображено блоком “Початок програми” на рисунку 5.1. Після чого виконуються необхідні інструкції для ініціалізації регістрів загального призначення, в оперативну пам’ять мікроконтролера для функціонування його апаратних блоків периферії. Після завершення виконання даного блоку, за трактом зв’язку між мікроконтролером та GSM модулем встановлюється з’єднання шляхом налаштування бодової швидкості для комунікації за протоколом UART. По завершенню описаних вище інструкцій, відбувається виділення пам’яті для функціонування ресурсів операційної системи. За цим етапом стоїть створення трьох відокремлених задач, які розташовуються у певних областях оперативної пам’яті та працюють квазіпаралельно. Задачі відповідають за певну поставлену їм мету, які виконуються у певних проміжках часу, який налаштовується програмно та виконується планувальником.

5.2 Налаштування регістрів мікроконтролера

Ініціалізація МК відбувається послідовно при чому виконуються наступні послідовності дій:

- конфігурація флеш пам’яті, кешу та SysTick;
- конфігурація внутрішнього тактового генератора;
- конфігурація портів вводу-виводу;
- конфігурація апаратного блоку UART;
- конфігурація та дозвіл на роботу АЦП;

- конфігурація зовнішніх переривань;
- конфігурація DMA на прийом та передачу даних;
- ініціалізація бібліотеки для роботи з GSM модулем – передача вказівників на структуру з даними для використання UART;
- виділення пам'яті у стеку під задачі;
- запуск планувальника.

Після виконання цих операцій починається робота програми, а точніше робота задач, які виконуються планувальником.

5.3 Проєктування задачі обробки сигналу переривання модулю детектування руху

Мета даної задачі полягає у прослуховуванні вмісту флагу зовнішнього переривання. Флаг представляється у вигляді однобітного значення у регістрі EXTCR_x. Зміна сигналу від модулю детектування руху представляє собою цифровий імпульс з амплітудою 3.3 В. Апаратний блок зовнішніх переривань повинен відпрацювати за переднім фронтом згаданого імпульсу. У результаті чого зміст регістру повинен змінитись на логічну одиницю. Мета розроблюваної задачі зчитувати значення регістру та сигналізувати у разі виникнення там логічної одиниці. Після чого даний регістр повинен бути очищений. Так як модуль детектування руху має дві лінії переривань, задача повинна очікувати вміст двох регістрів з логічними одиницями. У разі появи тільки одної одиниці за проміжок часу в 10 мс, буде зроблено висновок, що спрацювання було хибним.

5.4 Проєктування задачі виконання запиту до серверу

Для рахування інтервалів часу є зручним використання апаратного таймеру. З цією ж метою планувальник використовує системний таймер – SysTick. SysTick – це лічильник програмних переривань. У даному проєкті частота переривань складає 100Гц. Тобто це частота з якою спрацьовує SysTick. Загалом, знаючи період переривань, розраховуються часові

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК62.42554 9.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 96 |

проміжки. Тому, кожні дві хвилини виконуються HTTP запити шляхом передачі AT-команд до GSM модулю через канал DMA-UART. Модуль повинен відповісти. Наприклад “OK” у разі успішного виконання та “ERROR” у разі помилки. Ці посилки передаються через інший канал DMA - UART та потрапляють до мікроконтролера, який завершає сесію у разі успішного виконання команди або робить три спроби у разі наявності помилок. Операція по передачі даних каналом DMA має перевагу у тому, що процес передачі займає значно меншу кількість тактів на відміну від передачі напряду, використовуючи мікроконтролер.

5.5 Проектування задачі керування зарядом акумулятора

Через те що мікросхема заряджання акумулятора не має функції автоматичного контролю процесу заряджання, необхідно його виконувати програмно за допомогою мікроконтролера.

Так як немає апаратного керування заряджання акумулятора, необхідно це реалізувати програмно, використовуючи входи керування мікросхеми заряджання та вимірюючи рівень напруги за допомогою АЦП, роздільна здатність якого 0.805 мВ, див. формулу (2.3). У разі виходу напруги акумулятора з визначених діапазонів (від 3.6 В до 4.2 В) , алгоритм вмикає або вимикає мікросхему заряджання одним з його пінів. Іншим піном керується швидкість заряджання, а саме вихідний струм (80 мА або 450 мА). Крива заряджання акумулятору зображена на рисунку 5.2.



Рисунок 5.2 – крива заряджання li-ion акумулятора

За даною кривою видно, що на першому етапі необхідно забезпечити високий показник струму, а саме 450 мА. За цей час мікроконтролер відслідковує кожні 10 хвилин рівень заряду акумулятора. Якщо рівень достатній, то відбувається опускання піну до логічного нуля, деякий час відбувається заряджання поки рівень напруги не буде дорівнювати 4.2 В. Після чого мікросхема заряджання акумулятора вимикається.

Висновки до розділу

У даному розділі складено блок-схему та описано принципи функціонування розроблюваного пристрою зі сторони програмного забезпечення. Обґрунтовано використання прийнятих архітектурних рішень, наведено перелік операцій для ініціалізації мікроконтролера, описано принципи керування схемою за допомогою мікроконтролера. Вихідний код програмного забезпечення наведено у додатку Г.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК62.42554 9.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 98 |

ВИСНОВКИ

За результатом даного дипломного проекту розроблено безпроводну систему охорони, що відповідає вимогам поставленим у технічному завданні. Розроблено, змодельовано та розраховано схему електричну принципову. За схемою електричною принциповою розроблено друковану плату у САПР Altium Designer. Базуючись на з'єднаннях у схемі електричній принциповій, виконано розробку програмного забезпечення для функціонування розроблюваного пристрою.

За результатом першого розділу дипломного проекту розглянуто існуючі методи сигналізування події та запропоновано новий – метод сповіщення Telegram месенджером. Зроблено висновок, що для виконання такого сповіщення необхідно проектувати систему за концепцією IoT, тому проаналізовано недоліки та переваги існуючих систем охорони даного класу. Здійснено пошук патентних рішень. Зібравши достатню кількість інформації, прийнято рішення, що розроблюваний пристрій повинен мати резервне живлення. Це впливає як з потреб споживача у можливості відключення від джерела живлення так і з технологічних обмежень.

За результатом другого розділу розроблено блок-схему, побудовану на функціональних блоках, що складають основні логічні вузли схеми. Блок-схема представляє собою два основні функціональні модулі: модуль безпроводового зв'язку та модуль детектування руху. Перший виступає у ролі керуючого вузла, який встановлює з'єднання з віддаленим сервером, оброблює зовнішні переривання, контролює процес заряджання акумулятора. Другий є класичним датчиком руху, що встановлює позитивні імпульси у разі його спрацювання. Для проектування обох плат проаналізовано існуючу компонентну базу та вибрано компоненти з найкращими параметрами, які задовольняють вимогам поставленим у ТЗ. Також виділено такий важливий параметр як вартість окремих компонентів з яких складається собівартість кінцевого виробу. Для модуля безпроводового

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 99 |

зв'язку розраховано схему живлення, яка корелює між стабільністю та вартістю. Для модуля детектування руху розраховано схему обробки сигналу ІЧ датчика руху. Розрахунки включили в себе розрахунок полоси пропускання полосового фільтра виходячи зі швидкості пересування людини, сумарний коефіцієнт підсилення схеми та пороги відпрацювання віконного компаратора. Для перевірки розрахункових значень схеми виконано моделювання у середовищі LTspice XVII, яке доказало правильність розрахунків.

За результатом третього розділу визначено тип виготовлення та матеріал друкованої плати. Через великі розміри друкованої плати, з'явилась можливість розробити пристрій саме на двосторонній друкованій платі з необхідною шириною провідників та розміщенням компонентів. Друковані плати прийнято рішення виготовити комбінованим позитивним методом з четвертим класом точності. Через те що розробляється система саме безпеки, то до пристрою виставляються високі вимоги якості та надійності, тому прийнято рішення виготовити основу ДП з матеріалу склотекстоліт FR-4-35-1.5. Даний матеріал є найбільш розповсюдженим матеріалом для виготовлення друкованих плат високої якості. З огляду на потребу у високому показнику віброміцності, прийнято рішення про використання наступних розмірів друкованих плат: 85 мм х 45 мм для модуля безпроводового зв'язку та 35 мм х 35 мм для модуля детектування руху. При розробці креслень прийнято рішення про використання кроку координатної сітки у 1 мм. Спроектовано друкований вузол що відповідає вимогам поставленим у ТЗ.

За результатом четвертого розділу виконано ряд розрахунків, що підтверджують правильність конструкторсько-технологічних рішень. Показано, що гармоніки компонентів не призводять до електричного резонансу ДП, отже загальна конструкція є абсолютно жорсткою. Розраховано параметри надійності, а саме середній час напрацювань на

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 100 |

відмову. Даний параметр виявився дуже великим, що з одного боку стверджує про правильність прийнятих конструкторських рішень, але з іншого боку показав необхідність проведення реальних експериментів на толерантність до стресу, що є поширеним підходом до пристроїв, що розробляються. Розрахунки теплового режиму перетворювачів напруги показали, що їх потужності розсіювання не спричинять руйнування їх внутрішньої будови.

За результатом п'ятого розділу розроблено програмне забезпечення, яке повинно забезпечити потрібний функціонал для роботи розроблюваного пристрою. Для цього спроектовано блок-схему за якою послідувало проектування програмного коду. Дане програмне забезпечення будується на використанні м'якої операційної системи реального часу, що запускає такий ресурс як задачі, які квазіпаралельно працюють за конкретно поставленим алгоритмом. Отримане програмне забезпечення відповідає вимогам поставленим у ТЗ.

За результатом дипломного проекту в цілому, підготовлено пакет конструкторської документації, який складається з складальних креслень, креслень друкованої плати, переліків елементів та специфікацій.

За матеріалами роботи опубліковано статті у фахових виданнях [1, 5].

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК62.42554 9.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 101 |

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Кужильний О. В. GSM-сигналізація на базі датчику руху / О. В. Кужильний, Д. Ю. Ледебев. // Проблеми інформатизації та управління. – 2016. – №4. – С. 46–50.
2. Многофункциональная система контроля и сигнализации состояния охраняемого объекта: пат. RU2670904C2 ; заявл. 2018.12.12; опубл. 2016.02.01.
3. Сидни Ф. TCP/IP. Архитектура, протоколы, реализация / Фейт Сидни // TCP/IP. Архитектура, протоколы, реализация / Фейт Сидни. – Москва, 2000. – (Лори). – (5-85582-0726). – С. 312.
4. FC-793. Программная спецификация протокола DARPA INTERNET [Электронный ресурс] // Information Sciences Institute University of Southern. – 1981. – Режим доступа до ресурсу: <http://rfc.com.ru/rfc793.htm>.
5. Кужильний О. В. Архітектура охоронного ІоІ комплексу / Олег Вадимович Кужильний. // Вісник інженерної академії України. – 2019. – С. у друці.
6. GPRS изнутри [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа до ресурсу: http://pro-gprs.info/theory/gprs_part_1.html.
7. Пакеты по воздуху [Электронный ресурс] // CHIP. – 2002. – Режим доступа до ресурсу: <http://bitly.ws/8JtP>.
8. Джон Р. Wi-Fi. Беспроводная сеть. – Москва, 2010. – (NT Press). – (978-5-477-00665-6). – С. 69–95.
9. Value line ultra-low-power 32-bit MCU. Hardware datasheet [Электронный ресурс] // ST microelectronics. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://bit.ly/30AXBTF>.
10. Which types of batteries for your IoT devices? [Электронный ресурс] // SAFT. – 2020. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.saftbatteries.com/energizing-iot/types-batteries-iot-devices>.

11. Simple, Miniature Single-Cell, Fully Integrated Li-Ion / Li-Polymer Charge Management Controllers [Электронный ресурс] // Microchip. – 2007. – Режим доступа до ресурсу: <http://bitly.ws/8KC3> .
 12. Бейкер Б. Эффективность схем DC/DC-преобразователей в устройствах с батарейным питанием [Электронный ресурс] / Б. Бейкер // chipinfo. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.chipinfo.ru/literature/chipnews/200207/6.html>.
 13. LDO voltage regulator NCP550x [Электронный ресурс] // ON semiconductor. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/NCP5500-D.PDF>.
 14. SIM800L Hardware Design V1.00 [Электронный ресурс] // SimSom. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <http://bitly.ws/8KBE> .
 15. Calculation of a voltage stabilizer (reference voltage source) [Электронный ресурс] // rcl-radio. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://rcl-radio.ru/?p=29455>.
 16. Ti. Low-Power PIR Motion Detector With Sub-1GHz Wireless Connectivity Enabling 10-Year Coin Cell Battery Life [Электронный ресурс] // Ti Designs. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <http://bitly.ws/8KBG>.
 17. Nash P. Predicting the Reliability of Electronic Equipment / P. Nash, F. Nash. // IEEE. – 1994. – №82. – С. 992 – 1004.
 18. Савельев Л. Я. Конструирование ЭВМ и систем / Л. Я. Савельев, В. Л. Овчинников. – Москва, 1984. – 248 с. – (Высшая школа). – (УДК 681.3).
- ГОСТ 53429-2009. Платы печатные. Основные параметры конструкции
- ГОСТ 12.2.007-75. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Изделия электротехнические.
- ГОСТ 10317-79. Платы печатные. Основные размеры.
- ГОСТ 14254-96. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками.
- ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов.

ДОДАТОК А

Технічне завдання на проєктування

1. Найменування та галузь використання

Безпроводовий охоронний комплекс. Пристрій побутового призначення. Може бути використаний як пристрій, що сповіщає про наявність руху у приміщенні.

2. Підстава для розробки.

Підставою для розробки є завдання на дипломний проєкт згідно наказу по університету №1196-с від 25.05.2020 р.

3. Мета та призначення розробки.

Необхідно розробити конкурентоспроможний охоронний пристрій, що буде відрізнятися від існуючих аналогів простотою використання, дешевизною та надійністю. Ключовими особливостями є взаємодія з Telegram сервером та сповіщення власника шляхом відправлення повідомлень до його облікового запису у Telegram месенджері.

4. Джерело розробки.

Даний пристрій повинен стати модифікацією GSM сигналізації, яка описана у статті “GSM сигналізація на базі датчика руху” [1].

5. Технічні вимоги.

5.1 Склад виробу й вимоги до пристрою, що розробляється.

Розроблюваний охоронний пристрій з низьким енергоспоживанням та резервним живленням, що буде мати можливість безпроводового підключення до мережі Інтернет за протоколом GPRS. За рахунок підключення до мережі Інтернет, пристрій повинен встановлювати зв'язок з віддаленим Telegram сервером та таким чином сигналізувати про події.

Пристрій повинен мати спеціальний роз'єм для підключення різного виду модулів. У контексті розроблюваного пристрою даним модулем повинен виступати модуль детектування руху, що побудовано на піроелектричному датчика руху.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 104 |

5.2 Показники призначення.

Пристрій повинен забезпечувати:

- Можливість підключення різних модулів (сенсорів);
- керувати процесом заряджання акумулятора;
- забезпечення резервної роботи від акумулятора;
- живлення від 5 В 500 мА (можливість живлення від роз'єму USB типу);
- низьке енергоспоживання.

5.3 Вимоги до надійності.

Середній час напрацювання на відмову повинен бути не менше 50000 годин.

5.4 Вимоги до технологічності.

Орієнтовані на передові конструкторсько-технологічні рішення.

5.5 Вимоги до рівня уніфікації й стандартизації.

Для виготовлення пристрою використовувати стандартні та уніфіковані деталі.

5.6 Вимоги до безпеки обслуговування

Керуватися загальними вимогами безпеки до апаратури низької напруги ГОСТ 12.2.007-75.

5.7 Вимоги до складових частин виробу, сировини, вихідних й експлуатаційних матеріалів.

Для виробництва використовувати матеріали імпортного або вітчизняного виробництва.

5.8 Умови експлуатації

Кліматичне виконання УХЛ2 за стандартом ГОСТ 15150-69.

5.9 Вимоги до транспортування та зберігання

Група умов зберігання Л1 по ГОСТ 15150-69. Транспортувати автомобільним, залізничним або авіаційним видами транспорту в спеціальній

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК62.425549.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 105 |

транспортній тарі. Тобто пристрій повинен витримувати середні вимоги транспортування.

5.10 Додаткові технічні вимоги

Технічні характеристики до модуля безпроводового зв'язку:

| | |
|--------------------------------------|--|
| Габаритні розміри плати | Не більше 85 мм x 45 мм x 1.5 мм |
| Маса плати з елементами | Не більше 80 г |
| Живлення плати | 5 В з вихідним струмом 450 мА – 500 мА |
| Тип резервного акумулятора | Li-ion, li-po |
| Час резервної роботи від акумулятора | Не менше однієї доби |
| Тарифікація Інтернет послуг | За тарифом обраного оператора |
| Підключення модулів | Можливість підключення одного модуля до однієї плати |

Технічні характеристики до модуля, що підключається, а саме модуля детектування руху:

| | |
|-------------------------|----------------------------------|
| Габаритні розміри плати | Не більше 35 мм x 35 мм x 1.5 мм |
| Маса плати з елементами | Не більше 10 г |
| Живлення плати | Від 3 В до 6 В |
| Струм споживання | Не більше 5 мА |

6. Результати роботи

Результати даної роботи можуть бути використані як вихідна документація по створенню прототипу пристрою, його програмування, налагодження й подальшого впровадження в серійне виробництво. Дана робота (звітна документація) після виконання надається на кафедру КЕОА для подальшого захисту й зберігання як навчальної документації.

7. Робота повинна містити

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | ДК62.42554 9.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 106 |

- Пояснювальну записку формату А4 до 120 аркушів;
- Схему електричну принципову формату А0;
- Перелік елементів формату А4;
- Складальне креслення формату А1 – А4;
- Специфікацію формату А4;
- Додатки формату А1 – А4.

8. Порядок розгляду й приймання роботи

Порядок розгляду й приймання роботи на загальних умовах, прийнятих на кафедрі КЕОА. Рецензування й прийняття роботи комісією на загальних умовах.

9. Економічні показники

Розроблюваний пристрій повинен виділятися дуже низькою собівартістю для того щоб бути конкурентноспроможним на ринку охоронних систем.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК62.42554 9.001 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 107 |

ДОДАТОК Б

Публікація на тему: “Архітектура охоронного IoT комплексу”

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК62.425549.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 108 |

УДК 621.391

¹Кужильний О.В.,

²Лебедев Д.Ю. к.т.н, доц.,

³Антонюк О.І.

АРХІТЕКТУРА ОХОРОННОГО ІОТ КОМПЛЕКСУ

^{1,2,3} Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», d.lebedev@kpi.ua

У даній роботі розглянуто архітектуру сучасного охоронного IoT комплексу з використанням платформи Telegram для взаємодії з користувацькими додатками. Було розроблено бібліотеку для взаємодії мікроконтролеру з GSM модулем для генерації HTTP запитів з використанням примітивів синхронізації Queue, що входить у пакет з відкритим вихідним кодом системи реального часу – FreeRTOS.

Ключевые слова: IoT, HTTPS, TCP/IP, GPRS, Security, Telegram, STM32, охорона.

Потреба в охороні власного майна існувала завжди. Відповідно винаходились засоби, що вирішували питання безпеки, забезпечуючи необхідні умови для її впровадження. Найважливіша функція будь-якої охоронної системи є попередження або сприяння запобіганню ситуаціям, що можуть завдати шкоду людям від третіх осіб. Зі зростанням матеріально - технічної бази стало можливим створення широкого класу пристроїв охоронних систем.

Так у кінці 1990-х - початку 2000-х рр. більшою популярністю стали користуватися бездротові охоронні системи.

Початком 2000-х стало поширення способу передачі сигналу від охоронних систем шляхом використання GSM (Global System for Mobile Communications): Передача СМС повідомлень, виклик абонента власника тощо.

На початку 2010-х почався стрімкий розвиток вбудованих систем, поява перших IoT (Internet of Things) комплексів, що відкрили можливість інтеграції звичних електронних приладів з хмарними технологіями віддаленого доступу та управління за допомогою мережі Internet.

Метою даної роботи є реалізація структури охоронного IoT комплексу та бібліотеки для взаємодії мікроконтролеру з GSM модулем.

Гарним прикладом IoT технології напрямку є комплекс (Рис.1), що використовує технологію бездротової передачі індустріального класу – LoraWAN [1], фізичним рівнем якого виступає Lora модуляція. Даний комплекс побудований на використанні спеціальних маршрутизаторів (Gateways), що одночасно є приймачами даних, отриманих на певному діапазоні частот Lora модуляції (дозволена смуга частот певного регіону), передавачами, оскільки можуть передавати

ключі шифрування (для забезпечення безпечної передачі даних, динамічної автентифікації нових кінцевих засобів - OTAA) та одночасно маршрутизаторами, що передають декодовані LoraWan пакети за допомогою TCP/IP стеку за адресою отримувача. Таким чином статистика, у вигляді даних з сенсорів (End devices) збирається та потрапляє у зашифрованому вигляді до відповідних серверів (Network Servers), звідки оброблена статистика потрапляє до додатків користувачів у звичному для них форматі або графічному інтерфейсі (UI interface).

Опис архітектури охоронного комплексу.

Підходи, що були використані для побудови даного охоронного є подібними до LoraWan комплексу (Рис.1) та йому подібних IoT комплексів. Дана архітектура (Рис.2) складається з наступних складових:

- Security system – безпосередньо охоронний пристрій,
- TG bot server – Backend - сервер telegram боту,
- Global TG server – глобальний телеграм сервер, що обслуговує запити зареєстрованого telegram боту,
- TG Desktop / TG Smartphone – додатки «Telegram», встановлені на різні типи пристроїв.

Дана архітектура (Рис.2) ґрунтується на двох базових технологіях: GPRS (а саме стек TCP/IP) та Telegram API. Для більш детального опису архітектури буде розглянуто кожний компонент окремо.

Охоронний пристрій. Даний блок (Security system) складається з таких базових компонентів як 32-бітний мікроконтролер серії STM32L0 з низьким енергоспоживанням, GSM модуль моделі

SIM800L, PIR сенсора. Найбільша перевага використання GSM модулів у IoT комплексів – це наявність технології GPRS всередині таких мікросхем. Протокол GPRS є прозорим для стеку

TCP/IP, це значить, що сформовані пакети можуть мати формат IP, X.25, тому існує можливість використання будь-яких стандартних протоколів транспортного та прикладного рівнів (TCP, UDP, HTTPS, HTTP, SSL).

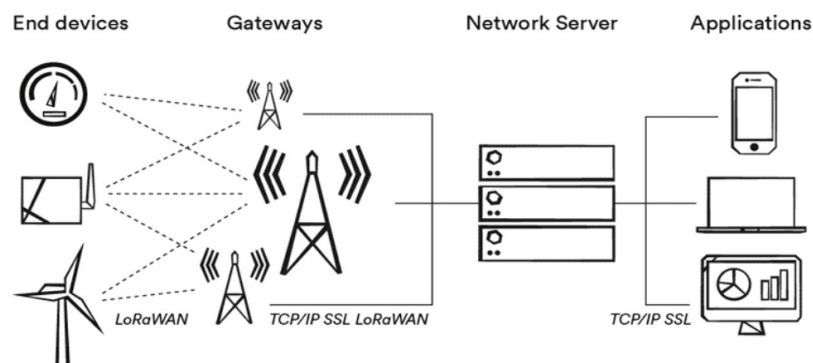


Рисунок 1. IoT комплекс на базі технології LoraWan

Використовуючи протоколи TCP та HTTPS відкривається можливість маршрутизувати пакети (наприклад передача стану системи або телеметрії), що потраплять на сервер гарантовано (надійність досягається за рахунок використання протоколу TCP [2]) у зашифрованому вигляді, використовуючи потрібні SSL сертифікати. Перевага

такої архітектури у тому, що для передачі IP пакетів не потрібно локально встановлювати пристрої маршрутизації пакетів (Gateways) як на схемі рис. 1. Таким чином, даний пристрій може бути незалежним від будь-якого периферійного обладнання і стати цілком мобільним у використанні.

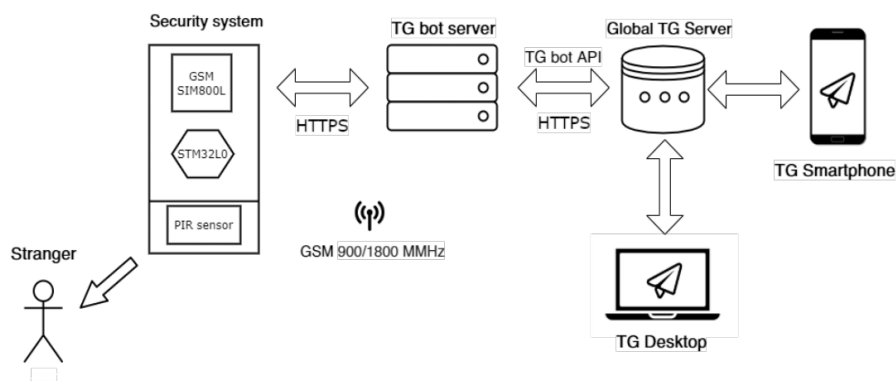


Рисунок 2. Архітектура охоронного комплексу

Для того, щоб налаштувати GSM модуль необхідно передати певні AT-команди у форматі UART на встановлений швидкості. Визначення необхідних AT-команд здійснюється шляхом пошуку їх у довіднику [3]. Структурна схема зображена на рис. 3.

Для того щоб виконати HTTP запит, передавши необхідну послідовність інформації до серверу необхідно передати наступні AT-команди (див. табл. 1).



Рисунок 3. Тракт передачі команд налаштування GSM модуля

Таблиця 1.

```
AT+HTTPPARA="URL","https://xinitydev.herokuapp.com/devapi/botecho/hello_sim800l"
OK
AT+HTTPPARA="UA","G"
OK
AT+HTTPPARA="REDIR",1
OK
AT+HTTPSSL=1
OK
AT+HTTPACTION=0
OK
+HTTPACTION: 0,200,17
AT+HTTPREAD
+HTTPREAD: 17
```

```
OK: hello_sim800l
OK
```

Базові елементи з табл. 1 наступні:

- «<https://xinitydev.herokuapp.com/>» - адреса серверу;
- «AT+HTTPSSL=1» – встановлення SSL сертифікатів;
- «+HTTPACTION: 0,200,17» – відповідь від серверу, де 200 – Код, що відповідає успішному HTTP запиту. Після цього етапу повідомлення до серверу буде доставлено;
- «OK» – зворотна відповідь від модулю про успішну обробку команди.

Для відправлення потрібної AT-команди необхідно її перенести у відповідний буфер та скерувати апаратним UART модулем мікроконтролера. Для цього необхідно зберегти AT-команди у пам'яті та послідовно передавати модулю UART за потребою.

Для обробки вище згаданих операцій було зроблено бібліотеку використовуючи мову програмування C.

Таблиця 2.

```
static void task_send_sync_http(struct sim_sync *sim_sync_set)
{
    if (NULL == sim_sync_set) return;
    uint16_t cmd_max_len = sim_sync_set->queue_size;
    uint32_t gprs_cmd_num = 6;
    uint8_t at_pkg[cmd_max_len][gprs_cmd_num];
    at_set(at_pkg[0], (uint8_t *)"AT+HTTPPARA", (uint8_t *)"\CID\" ", (uint8_t *)"1", NULL);
    at_set(at_pkg[1], (uint8_t *)"AT+HTTPPARA", (uint8_t *)"\URL\" ", (uint8_t *)"BOT_URL", "\r", NULL);
    at_set(at_pkg[2], (uint8_t *)"AT+HTTPPARA", (uint8_t *)"\UA\" ", (uint8_t *)"\G\" ", NULL);
    at_set(at_pkg[3], (uint8_t *)"AT+HTTPPARA", (uint8_t *)"\REDIR\" ", "1", NULL);
    at_set(at_pkg[4], (uint8_t *)"AT+HTTPSSL", (uint8_t *)"1", NULL);
    at_set(at_pkg[5], (uint8_t *)"AT+HTTPACTION", (uint8_t *)"0", NULL);
    for(size_t i = 0; i < gprs_cmd_num; i++)
        xQueueSend(sim_sync_set->at_queue, at_pkg[i], sim_sync_set->tics_delay);
}
```

У таблиці 2 відображено функцію `task_send_sync_http`, аргументом (`*sim_sync_set`) якої є вказівник на структуру (`struct sim_sync`), що складається з вказівників на функцію передачі даних по UART.

У даній функції AT-команди передаються у чергу повідомлень (`sim_sync_set->at_queue`) з відповідною затримкою передачі. Після виконання функції `xQueueSend` усі повідомлення повинні скластися у чергу (Queue). Після чого кожна команда буде зчитуватися послідовно з певною затримкою. Таким чином відбувається синхронізація передачі даних до модуля GSM для того, щоб він встигав обробляти усі повідомлення.

“Queue” є однією з примітив операційної системи реального часу - FreeRTOS.

BOT_URL – адреса серверу та відповідне повідомлення. Наступна функція (таблиця 3) проводить операцію отримання AT-команд з черги та послідовно передачі їх до буферу апаратного UART мікроконтролера. Звідки дані буде зчитано та передано GSM модулю.

Функція `xQueueReceive` – послідовне зчитує AT-команд з черги та зберігає у пам'яті `at_pkg` звідки будуть зчитуватись AT-команди для передачі, `at_exes` - абстрактна функція, що передає набір з AT-командами у буфер апаратного UART - `sim_sync_set` та ініціює їх передачу.

PIR сенсор. Даний сенсор являє собою друкований вузол, що складається з інфрачервоного сенсору руху, триггеру, фільтрів та підсилювача аналогового сигналу. Мета використання триггеру у схемі є перемикання станів з логічного

нуля в одиницю. Тобто двома станами, що представляється у вигляді одного інформаційного біту, описується наявність зломисника (Stranger – рис 1.) у приміщенні. Даний біт інформації поступає на один зі входів мікроконтролеру.

Таблиця 3.

```
static void task_get_sync_http(struct sim_sync *sim_sync_set)
{
    if (NULL == sim_sync_set)    return;
    uint32_t cmd_max_len = sim_sync_set->queue_size;
    uint8_t at_pckg[cmd_max_len];
    if(pdTRUE == xQueueReceive(sim_sync_set->at_queue, at_pckg, sim_sync_set->tics_delay))
        at_exec(sim_sync_set, at_pckg);
}
```

TG Bot server. Усю необхідну логіку для роботи охоронного пристрою виконує Telegram бот: відповідає на запити від охоронного комплексу та їх опрацьовує. Даний бот являє собою програму, що розташована на сервері та приймає певні рішення відповідно до того які дані знаходяться у запиті від охоронного комплексу. Для того щоб підтримувати актуальну інформацію про стан пристрою, HTTP запити повинні проводитись з певною періодичністю.

Логіка роботи будується за допомогою мови програмування Python3. Для вирішення задачі обробки HTTP запитів використовуються бібліотека “Python-telegram-bot”, на базі HTTP. Дана програма внутрішня логіка telegram боту виконується на спеціальному сервері (Рис 1.).

Global TG server. Даний сервер є глобальним, оскільки обробляє запити усіх ботів Telegram.

При реєстрації/створенні боту додаток повертає спеціальну послідовність – токен. Наприклад: 905971816:AAEG3jegIECB3ilnvGkViTH2Z4nD3.

Знаючи даний токен, є можливість проводити взаємодію в певним telegram ботом, використовуючи HTTP запит. Наприклад наступний виклик, а саме – «<https://api.telegram.org/bot12:ABC-DEhlklzyx57123ew11/getMe>» передасть потрібне повідомлення потрібному телеграм боту.

Головною задачею будь-якого бота – це взаємодія з користувачем. Така взаємодія відбувається шляхом відображення повідомлень у додатку «Telegram». Цей додаток може бути встановленим широким діапазоном користувацьких пристроїв: смартфон, планшет, ПК. Перевагою використання готового сервісу є те, що немає необхідності розробляти додаток самостійно. Тим самим береться за основу глобальний та надійний сервіс, яким користується більша частина користувачів сучасних електронних пристроїв. Приклад сповіщення про тривогу від telegram боту зображено на рисунку 4.

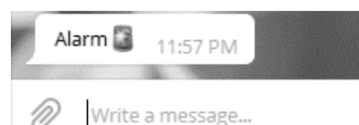


Рисунок 4. Приклад сповіщення telegram боту

Висновки

Базуючись на попередньо розглянутій GSM-сигналізації [4] було розроблено сучасну IoT архітектуру охоронного комплексу. Перевагою даної архітектури є використання мережі Internet для взаємодії з користувацькими додатком telegram, який наразі є одним з глобальних тенденцій у світі комунікації. Крім того за використання протоколу GPRS досягається ліквідація маршрутизуючого обладнання, що дає змогу розробляти подібні прилади більш мобільними.

Було розроблено бібліотеку для взаємодії мікроконтролеру з GSM модулем для генерації HTTP запитів з використанням примітивів синхронізації Queue, що входить у пакет з відкритим вихідним кодом системи реального часу – FreeRTOS [5]. Для більшої наочності було розроблено telegram бота, що виконує сповіщення про тривогу (Рис.4). При необхідності, для кодування інформації можна використовувати пристрою AES шифратора [6-7].

Список литературы

1. What is the LoRaWAN Specification? - Режим доступу до статті: <https://loralliance.org/about-lorawan>
2. Ногл М., TCP/IP: Иллюстрированный учебник / Ногл М. - М. : ДМК Прес, 2001. - 480 с.
3. SIM800 Series_AT Command Manual V1.09 by SimCorp.
4. Кужильный О.В., Лебедев Д.Ю. GSM-сигнализация на базе датчика руху // Проблемы информатизации та управл. – К : 2017. - № 4 - с.46-50
5. About FreeRTOS Kernel - Режим доступу до статті: <https://www.freertos.org/RTOS.html>

6. Шаповал І.В., Лебедев Д.Ю. Алгоритм роботи пристрою AES шифратора // Проблеми інформатизації та управління. - Київ, 2016. - №1(53) - с. 87-91

7. Стасюк М.В., Антонюк О.І., Лебедев Д.Ю. «Ядро з апаратним розпаралелюванням виконання програм» Наукоємні технології. Науковий журнал, №4 (20) с. 398 – 402, Київ, 2013.

ДОДАТОК В

Публікація на тему: “GSM Сигналізація на базі датчика руху”

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК62.425549.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 114 |

GSM-СИГНАЛІЗАЦІЯ НА БАЗІ ДАТЧИКУ РУХУНаціональний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»d.y.l.box@gmail.com*В даній роботі розглянуто структурну схему та алгоритм роботи GSM-сигналізації з інфрачервоним датчиком руху типу HC-SR501 на базі Arduino Leonardo та GSM контролером NEOWAY m590.***Ключові слова:** Сигналізація, GSM, інфрачервоний датчик руху, PIR, Arduino Leonardo.**Вступ**

Ідея використання мобільного телефону для оповіщення власника про небезпечні події на об'єкті, що охороняється не нова, але до сих пір була практично недоступна рядовому людині з огляду на дорожнечу, як самих мобільних пристроїв, так і послуг операторів, підтримуючих їх роботу.

Масове виробництво мобільних телефонів і жорстка конкуренція операторів мобільного зв'язку, зробили свою справу і призвели до суттєвого здешевлення ринка мобільних пристроїв і послуг. В результаті цього вже зараз пересічному користувачеві по кишені, як сам мобільний телефон, так і послуги оператора мобільного зв'язку. Все це дозволяє тепер по-новому поглянути на охоронні системи даного класу.

В даний час велику популярність отримали так звані GSM сигналізації. GSM сигналізація в загальному випадку представляє з себе блок керування та обробки даних в режимах прийому та передачі (GSM контролер), до якого підключаються датчики (чутливі елементи) і GSM модем.

Що ж дає охоронний пристрій? В першу чергу така система дає небачену раніше мобільність - користувач може контролювати об'єкт, що охороняється,

як на відстані 100 метрів, так і на відстані 100 кілометрів і при цьому бути завжди в курсі всіх подій, що відбуваються на об'єкті! По - друге, мобільний телефон дає користувачеві звичний інтерфейс, що набагато спрощує передачу даних від охоронного пристрою власнику і гарантує адекватне їх сприйняття. По-третє, складність побудови такого приладу набагато простіше, ніж у стандартних охоронних пристроїв, що використовують для зв'язку радіоканал.

Все, що необхідно для роботи даної системи - наявність електричної енергії, і досить стійкий мобільний зв'язок.

Метою даної роботи є створення GSM сигналізації з інфрачервоним датчиком руху.

У якості бази було обрано мікроконтролер фірми ATMEL MEGA32U4, який встановлений на базі Arduino Leonardo, GSM контролер NEOWAY m590 та інфрачервоний датчик (PIR) типу HC-SR501. Схема не містить дорогих і важкодоступних деталей. Структурна схема GSM-сигналізації наведена на рисунку 1. При необхідності можна змінити всі програмні затримки, а також параметри

самого пристрою, за допомогою перепрошивки мікроконтролера ATMEL MEGA32U4.

Схема вмикається підключенням зовнішнього джерела живлення, яке повинно забезпечувати напругу 4,7 – 5 В.

Опис особливостей роботи пристрою

Керування GSM модемом забезпечується набором AT-команд. Набір команд складається з серій коротких текстових рядків, які об'єднують разом, щоб сформувати повні команди операцій, таких як набір номера, початок з'єднання або зміна параметрів установки. Для того, щоб модем розпізнав ці команди, вони повинні бути записані в специфічній формі. Кожна команда завжди починається літерами AT або at (від англ. ATtention, за що і отримали свою назву). AT-команди зазвичай відправляються модему за допомогою комунікаційного програмного забезпечення, але також можуть бути введені користувачем вручну, з комп'ютерної клавіатури (наприклад, за допомогою послідовного порта Arduino IDE [1, 2]).

Але в даному випадку користувач не має можливості відсилати команди самостійно, тому за нього повинен це робити мікроконтролер. Ключова особливість виконання алгоритму полягає у комбінації AT-команд [3, 4] та необхідних затримок при необхідних умовах (наприклад спрацювання датчика руху). Це дає можливість використовувати модуль як необхідний пристрою користувачу пристрій.

Функціонування охоронного пристрою

Початок роботи пристрою

Блок-схема алгоритму роботи GSM сигналізації зображено на рисунку 2.

Після підключення кабелю пристрою живлення до контактної входу Arduino, пристрій GSM - сигналізації включається і починає працювати. В першу чергу контролер перевіряє наявність PIN-коду на SIM-картці. Якщо PIN-код є стандартним або відсутній - пристрій починає виконувати калібрування (що займає приблизно 30 секунд), під час якого світлодіодний індикатор стану швидко блимає. Після чого починається процес постійного горіння світлодіода стану, та саме його яскравість визначає силу сигналу мобільного зв'язку. Далі, при першому запуску, необхідно виконати виклик за номером SIM-картки, яка встановлена у пристрій GSM - сигналізації. Це необхідно для того, щоб контролер зберіг у свою пам'ять (ПЗУ) номер мобільного телефону, з якого робився виклик та на який необхідно зробити виклик у разі тривоги.

Введенні PIN-коду SIM-картки

В першу чергу контролер перевіряє наявність PIN-коду на SIM-картці. Якщо він присутній, - алгоритм виконує пошук та введення стандартних PIN-кодів. Загалом для українських операторів це – «1111» або «0000». Якщо PIN-код не є вірним, - світлодіод-індикатор почне нескінченно блимати, поки користувач не видалить чи змінить PIN-код на SIM-картці за допомогою мобільного пристрою. Якщо код є вірним, або відсутній, - процес супроводжується блиманням білого світлодіода-індикатора та паралельно процесом калібрування пристрою.

Встановлення в режим охорони

Для режиму охорони не потрібно окремих дій зі сторони користувача.

Пристрій увійде в цей режим відразу після процесу калібрування. Постійне горіння світлодіода-індикатора стану, який відображає силу сигналу, також сигналізує про те, що пристрій вже встановлено в режим охорони.

Робота пристрою у режимі охорони

Процес роботи пристрою GSM – сигналізації в режимі охорони полягає у контролі сигналів від охоронного датчика і здійснення сигнальних дзвінків на номер абонента.

Саме контролер аналізує рівень сигналу (високий чи низький) та чекає виводу користувача (для зміни номеру).

У ситуації, коли інфрачервоний датчик руху реагує і подає сигнал з високим рівнем, починається процес зчитування номера телефону з пам'яті та виклик користувача. Після цього пристрій входить у режим очікування та аналізу відповіді користувача на вхідний виклик.

В момент отримання результату (наприклад відхилення виклику від користувача) контролер переходить в режим перезавантаження (приблизно 20 секунд) та знов встановлюється у режим охорони.

Відповідь на вхідні дзвінки

При вхідному дзвінку з зареєстрованого у мережі номера телефону відбувається аналіз стану.

Якщо абонент вже знаходиться у стані «розмови», пристрій почне дзвонити поки абонент не прийме чи відхилить виклик. Якщо користувач прийняв виклик – пристрій автоматично перезавантажується. Відхилення чи

прийняття виклику є індикатором того, що до абоненту дійшов виклик.

У разі, коли користувач не відповідає зовсім – пристрій перезавантажується та знову входить у режим охорони.

Дану функцію можна перепрограмувати в залежності від конкретного об'єкту охорони та потреб користувача.

Моніторинг рівня сигналу GSM-мережі

Кожні 30 секунд перевіряється рівень сигналу. Даний процес проходить за рахунок програмних переривань. Яскравість світлодіода прямопропорційна рівню GSM-сигналу. Якщо сигнал сильний – світлодіод горить яскраво. Якщо сигналу немає – він не горить. Вимкнення світлодіоду виникає у разі виходу з зони покриття мобільної мережі.

Індикація

Найбільш зручний для безпосереднього сприйняття людиною візуально використовується світлодіод.

В залежності від стану контролера, світлодіод знаходиться у декількох станах. Якщо це повільне довге блимання – пристрій перезавантажується чи калібрується. Якщо це швидке коротке блимання – відбувається вхідний/вихідний виклик. Якщо індикатор горить – пристрій знаходиться в робочому стані та має певний рівень сигналу, в залежності від яскравості. Якщо індикація відсутня – відсутній сигнал, або модем виконує виклик абоненту.

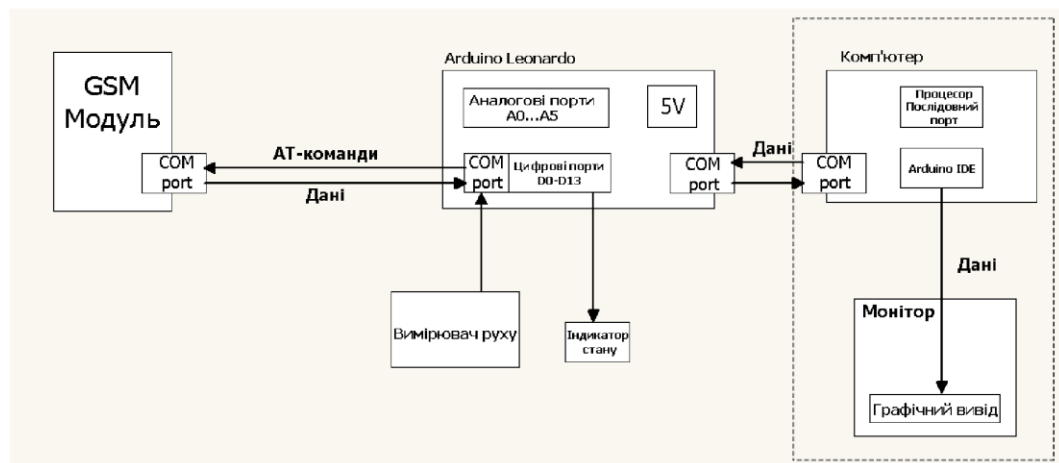


Рис.1. Структурна схема GSM-сигналізації

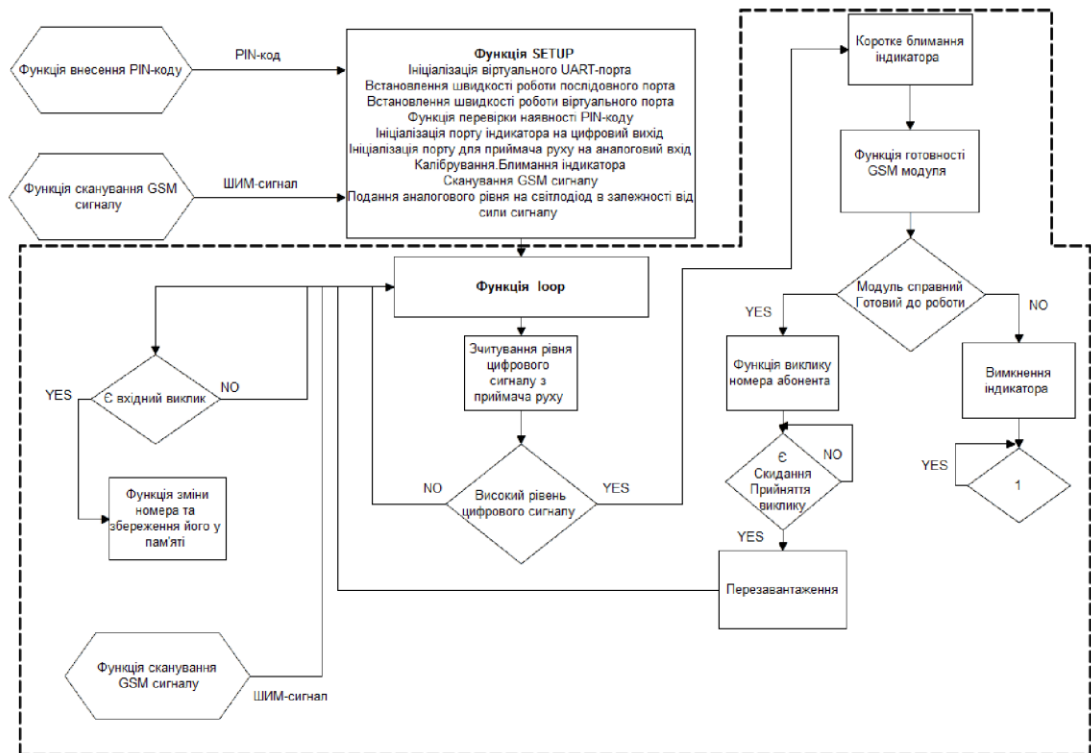


Рис.2. Блок-схема алгоритму роботи GSM-сигналізації

Висновки

Розглянутий алгоритм роботи пристрою буде покладено в основу створення макету пристрою GSM - сигналізації.

Реалізація алгоритму дозволить користуватись такими перевагами як безпосередній зв'язок пристрою з користувачем без допомоги застарілих ліній телефонного зв'язку, можливістю передачі стану за допомогою SMS повідомлень, а при необхідності кодування інформації [5]. Схема збірки пристрою GSM - сигналізації дозволяє вносити зміни, як у окремі блоки, включаючи їх повну заміну, так і у програмне забезпечення. Наступним етапом є створення програмного забезпечення на основі розглянутого алгоритму та налагодження блоків пристрою.

Список літератури

1. Алдохін М.Д., Лебедев Д.Ю. Алгоритм роботи системи трекінгу // Проблеми інформатизації та управління. - Київ, 2016. - №4(56) - С. 5-9.
2. Schmidt M. Arduino: A Quick Start Guide // Pragmatic Bookshelf. – January 22 2011 – 201 p.
3. M590 AT COMMAND SETS V3.0 by Shenzhen Neoway Technology - Режим доступу до довідника: <https://cdn.instructables.com/ORIG/FX6/UAHQ/IZ6CYGIU/FX6UAHQIZ6CYGIU.pdf>
4. HC-SR501 PIR MOTION DETECTOR. Product Discription - Режим доступу до статті: <https://www.mpja.com/download/31227sc.pdf>
5. Шаповал І.В., Лебедев Д.Ю. Алгоритм роботи пристрою AES шифратора // Проблеми інформатизації та управління. - Київ, 2016. - №1(53) - С. 87-91.

ДОДАТОК Г

Вихідний код програмного забезпечення

Файл main.c

```
#include "stm32f1xx_hal.h"
#include "FreeRTOS.h"
#include "task.h"
#include "sim.h"

#define mainCHECK_TASK_STACK_SIZE
configMINIMAL_STACK_SIZE + 50 )

UART_HandleTypeDef huart1;
DMA_HandleTypeDef hdma1_tx;
DMA_HandleTypeDef hdma1_rx;
GPIO_InitTypeDef gpio_uart;

QueueHandle_t xQueue;

void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
static void MX_USART1_UART_Init(void);
static void DMA_TX_Config(void);
static void DMA_RX_Config(void);
static void uart_gpio_init(GPIO_InitTypeDef *gpio);

void Error_Handler(void);

void vTaskCode(void *pvParameters)
{
    HAL_atSim *queue_http_set = (HAL_atSim *) pvParameters;
    at_http_query(queue_http_set);
}

void vApplicationTickHook(void)
{
    /* STM32 HAL requires tick rate to be exactly 1 kHz.
     * We overcome this limit by providing a counter inside the
    tick hook
    */
    static uint32_t halcnt = 0;
    if (++halcnt >= (configTICK_RATE_HZ / 1000)) {
        halcnt = 0;
        HAL_IncTick(); /* TODO: try incrementing uwTick directly
    */
    }
}
```

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК62.425549.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 120 |

```

int main(void) {
    HAL_Init();
    SystemClock_Config();
    MX_GPIO_Init();
    uart_gpio_init(&gpio_uart);
    MX_USART1_UART_Init();
    DMA_TX_Config();
    DMA_RX_Config();

    HAL_atSim at_commands;
    struct sim_sync synced_uart;
    synced_uart.synced_sim_uart = &huart1;
    synced_uart.at_queue = xQueue;
    synced_uart.transmit_uart_func = &HAL_UART_Transmit_DMA;
    synced_uart.receive_uart_func = &HAL_UART_Receive_DMA;
    synced_uart.tics_delay = pdMS_TO_TICKS(100); /* 100ms for
queue delay */

    at_sim_init(&at_commands, &huart1, &synced_uart);

    xTaskCreate(vTaskCode,                                "http_get_request",
mainCHECK_TASK_STACK_SIZE, &at_commands, 3, NULL );

    vTaskStartScheduler();
    return 0;
}

void DMA_TX_Config() {

    /* DMA */
    /* Configure common DMA parameters */
    hdma1_tx.Instance = DMA1_Channel5;
    hdma1_tx.Init.Direction                = DMA_MEMORY_TO_PERIPH;
    hdma1_tx.Init.PeriphInc                = DMA_PINC_DISABLE;
    hdma1_tx.Init.MemInc                   = DMA_MINC_DISABLE;
    hdma1_tx.Init.PeriphDataAlignment      = DMA_PDATAALIGN_BYTE;
    hdma1_tx.Init.MemDataAlignment         = DMA_PDATAALIGN_BYTE;
    hdma1_tx.Init.Mode                     = DMA_CIRCULAR;
    hdma1_tx.Init.Priority                  = DMA_PRIORITY_VERY_HIGH;

    __HAL_RCC_DMA1_CLK_ENABLE();

    HAL_DMA_DeInit(&hdma1_tx);
    /* Configure the DMA Stream */
    if(HAL_DMA_Init(&hdma1_tx) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
}

```



```

    /* Associate uart1 with dma_tx */
    __HAL_LINKDMA(&huart1, hdmatrix, hdma1_tx);

    HAL_NVIC_SetPriority(DMA1_Channel4_IRQn, 0, 0);
    HAL_NVIC_EnableIRQ(DMA1_Channel4_IRQn);
}

void DMA_RX_Config(void) {

    /* Configure common DMA parameters */
    hdma1_rx.Instance = DMA1_Channel5;
    hdma1_rx.Init.Direction          = DMA_PERIPH_TO_MEMORY;
    hdma1_rx.Init.PeriphInc          = DMA_PINC_DISABLE;
    hdma1_rx.Init.MemInc             = DMA_MINC_DISABLE;
    hdma1_rx.Init.PeriphDataAlignment = DMA_PDATAALIGN_BYTE;
    hdma1_rx.Init.MemDataAlignment   = DMA_PDATAALIGN_BYTE;
    hdma1_rx.Init.Mode               = DMA_CIRCULAR;
    hdma1_rx.Init.Priority           = DMA_PRIORITY_VERY_HIGH;

    HAL_DMA_DeInit(&hdma1_rx);
    /* Configure the DMA Stream */
    if(HAL_DMA_Init(&hdma1_rx) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
    /* Associate uart1 with dma_rx */
    __HAL_LINKDMA(&huart1, hdmatrix, hdma1_rx);

    HAL_NVIC_SetPriority(DMA1_Channel5_IRQn, 0, 0);
    HAL_NVIC_EnableIRQ(DMA1_Channel5_IRQn);
}

/**
 * @brief System Clock Configuration
 * @retval None
 */
void SystemClock_Config(void)
{
    RCC_OscInitTypeDef RCC_OscInitStruct = { 0 };
    RCC_ClkInitTypeDef RCC_ClkInitStruct = { 0 };

    /** Initializes the CPU, AHB and APB busses clocks */
    RCC_OscInitStruct.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_HSI;
    RCC_OscInitStruct.HSISState = RCC_HSI_ON;
    RCC_OscInitStruct.HSICalibrationValue =
RCC_HSICALIBRATION_DEFAULT;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_ON;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLSource = RCC_PLLSOURCE_HSI_DIV2;
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLMUL = RCC_PLL_MUL16;
    if (HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct) != HAL_OK) {

```

```

        Error_Handler();
    }
    /** Initializes the CPU, AHB and APB busses clocks */
    RCC_ClkInitStruct.ClockType = RCC_CLOCKTYPE_HCLK |
RCC_CLOCKTYPE_SYCLK | RCC_CLOCKTYPE_PCLK1
                                | RCC_CLOCKTYPE_PCLK2;
    RCC_ClkInitStruct.SYSCLKSource = RCC_SYSCLKSOURCE_PLLCLK;
    RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYSCLK_DIV1;
    RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV2;
    RCC_ClkInitStruct.APB2CLKDivider = RCC_HCLK_DIV1;

    if (HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct, FLASH_LATENCY_2)
!= HAL_OK) {
        Error_Handler();
    }
}

/**
 * @brief USART1 Initialization Function
 * @param None
 * @retval None
 */
static void MX_USART1_UART_Init(void)
{
    /* USER CODE END USART1_Init 1 */
    huart1.Instance = USART1;
    huart1.Init.BaudRate = 9600;
    huart1.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
    huart1.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
    huart1.Init.Parity = UART_PARITY_NONE;
    huart1.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
    huart1.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
    huart1.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
    if (HAL_UART_Init(&huart1) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
}

static void uart_gpio_init(GPIO_InitTypeDef *gpio)
{
    gpio->Pin = GPIO_PIN_10 | GPIO_PIN_9;
    gpio->Mode = GPIO_MODE_AF_PP;
    gpio->Speed = GPIO_SPEED_FREQ_HIGH;
    gpio->Pull = GPIO_NOPULL;
    HAL_GPIO_Init(GPIOA, gpio);
}

```

```

/**
 * @brief GPIO Initialization Function
 * @param None
 * @retval None
 */
static void MX_GPIO_Init(void)
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct = {0};
    /* GPIO Ports Clock Enable */
    __HAL_RCC_GPIOC_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOD_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOB_CLK_ENABLE();

    /*Configure GPIO pins : PC13 PC14 PC15 */
    GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_13|GPIO_PIN_14|GPIO_PIN_15;
    GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_ANALOG;
    HAL_GPIO_Init(GPIOC, &GPIO_InitStruct);

    /*Configure GPIO pins : PD0 PD1 */
    GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_0|GPIO_PIN_1;
    GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_ANALOG;
    HAL_GPIO_Init(GPIOD, &GPIO_InitStruct);

    /*Configure GPIO pins : PA0 PA1 PA2 PA3
                             PA4 PA5 PA6 PA7
                             PA8 PA11 PA12 PA15 */
    GPIO_InitStruct.Pin
GPIO_PIN_0|GPIO_PIN_1|GPIO_PIN_2|GPIO_PIN_3
|GPIO_PIN_4|GPIO_PIN_5|GPIO_PIN_6|GPIO_PIN_7
|GPIO_PIN_8|GPIO_PIN_11|GPIO_PIN_12|GPIO_PIN_15;
    GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_ANALOG;
    HAL_GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStruct);

    /*Configure GPIO pins : PB0 PB1 PB2 PB10
                             PB11 PB12 PB13 PB14
                             PB15 PB4 PB5 PB6
                             PB7 PB8 PB9 */
    GPIO_InitStruct.Pin
GPIO_PIN_0|GPIO_PIN_1|GPIO_PIN_2|GPIO_PIN_10
|GPIO_PIN_11|GPIO_PIN_12|GPIO_PIN_13|GPIO_PIN_14
|GPIO_PIN_15|GPIO_PIN_4|GPIO_PIN_5|GPIO_PIN_6
|GPIO_PIN_7|GPIO_PIN_8|GPIO_PIN_9;
    GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_ANALOG;
    HAL_GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStruct);

```

```

    /*Configure peripheral I/O remapping */
    __HAL_AFIO_REMAP_PD01_ENABLE();
}
/**
 * @brief This function is executed in case of error
occurrence.
 * @retval None
 */
void Error_Handler(void)
{
    /* USER CODE BEGIN Error_Handler_Debug */
    /* User can add his own implementation to report the HAL error
return state */

    /* USER CODE END Error_Handler_Debug */
}
#ifdef USE_FULL_ASSERT
/**
 * @brief Reports the name of the source file and the source
line number
 * where the assert_param error has occurred.
 * @param file: pointer to the source file name
 * @param line: assert_param error line source number
 * @retval None
 */
void assert_failed(uint8_t *file, uint32_t line)
{
    /* USER CODE BEGIN 6 */
    /* User can add his own implementation to report the file name
and line number,
    tex: printf("Wrong parameters value: file %s on line
%d\r\n", file, line) */
    /* USER CODE END 6 */
}
#endif /* USE_FULL_ASSERT */
/***** (C) COPYRIGHT STMicroelectronics
*****END OF FILE*****/

```

Файл sim.c

```

#include <ctype.h>
#include <stdarg.h>
#include <string.h>

#include "stm32f1xx_hal.h"
#include "stm32f1xx_hal_dma.h"
#include "sim.h"

```

```

/**
 * Translate string of arguments into AT format command
 * at_set("AT+CP", "1", "2", " \"URL\\", " \"HTTP\\.\" " ) will be
represented
 * as AT+CP=1,2,"URL\\HTTP\\.\" \r\n
 *
 * @param at_query a buffer to be filled in
 * @param cmd an AT command body
 * @param fmt AT command argument
 * @param ... AT command arguments flow
 */
static uint16_t at_set(uint8_t *at_query, uint8_t *cmd, uint8_t
*fmt, ...)
{
    uint16_t arg_len;
    va_list ap;

    if (NULL != cmd) {
        uint32_t arg_len = strlen((char *)cmd) + 1;
        memcpy(at_query, cmd, arg_len);
    } else return 1;

    /* Append AT assign arguments */
    strncat((char *)at_query, (char *)'=', 1);

    va_start(ap, fmt);
    uint8_t *curr_arg;

    /* Saving packages following AT format */
    while(*(fmt++)) {
        strncat((char *)at_query, (char *)',', 1);
        curr_arg = va_arg(ap, uint8_t* );
        arg_len = strlen((char *)curr_arg)+1;
        strncat((char *)at_query, (char *)curr_arg,
arg_len);
    }

    /* To add the mandatory tail of AT format */
    strcat((char *)at_query, (char *) " \\r");

    arg_len = strlen((char *)at_query)+1;
    va_end(ap);

    return arg_len;
}

/**
 * Provides UART routines for getting response from SIM module

```

```

*
* @param sim_sync_set platform depended set
* @param cmd AT command without arguments
*
*/
static uint8_t *at_receive(struct sim_sync *sim_sync_set, uint8_t
*cmd)
{
    uint16_t size = sim_sync_set->queue_size;

    uint8_t rx_response[size];

    if (0x00U != sim_sync_set->transmit_uart_func(sim_sync_set-
>syncd_sim_uart, cmd, size))
        return NULL;

    if (0x00U != sim_sync_set->receive_uart_func(sim_sync_set-
>syncd_sim_uart, rx_response, size))
        return NULL;

    return rx_response;
}

/*
* Provides UART routines for transmitting AT commands to SIM
module
*
* @param sim_sync_set platform depended set
* @param cmd a full format AT command
*/
static bool at_exec(struct sim_sync *sim_sync_set, uint8_t *cmd)
{
    uint16_t size = sim_sync_set->queue_size;
    uint8_t rx_response[size];

    if (0x00U != sim_sync_set->transmit_uart_func(sim_sync_set-
>syncd_sim_uart, cmd, size))
        return false;

    if (0x00U != sim_sync_set->receive_uart_func(sim_sync_set-
>syncd_sim_uart, rx_response, size))
        return false;

    if ( 0 == strcmp((const char *)rx_response, (const char
*)"error\\r\\n"))
        return false;

    return true;
}

```

```

/*
 * Provides FreeRtos GPRS queue filling
 * Inserts GPRS AT commands to queue
 *
 * @param sim_sync_set platform depended set
 */
static void task_send_sync_gprs(struct sim_sync *sim_sync_set)
{
    if (NULL == sim_sync_set)
        return;

    uint32_t gprs_cmd_num = 8;
    uint8_t at_pckg[sim_sync_set->queue_size][gprs_cmd_num];

    at_set(at_pckg[0], (uint8_t *) "AT+CIPSHUT", (uint8_t *) "\r", NULL);
    at_set(at_pckg[1], (uint8_t *) "AT+CMEE", (uint8_t *) "2", NULL);
    at_set(at_pckg[2], (uint8_t *) "AT+CGATT", (uint8_t *) "2", NULL);
    at_set(at_pckg[3], (uint8_t *) "AT+SAPBR", (uint8_t *) "3", (uint8_t *) "1" " \"CONTYPE\" ", (uint8_t *) " \"GPRS\" ", NULL);
    at_set(at_pckg[4], (uint8_t *) "AT+SAPBR", (uint8_t *) "3", (uint8_t *) "1", (uint8_t *) " \"APN\" ", (uint8_t *) " \"internet\" ", NULL);
    at_set(at_pckg[5], (uint8_t *) "AT+SAPBR", (uint8_t *) "3", (uint8_t *) "1", " \"USER\" ", (uint8_t *) " \"\" ", NULL);
    at_set(at_pckg[6], (uint8_t *) "AT+SAPBR", (uint8_t *) "3", (uint8_t *) "1", " \"PWD\" ", (uint8_t *) " \"\" ", NULL);
    at_set(at_pckg[7], (uint8_t *) "AT+SAPBR", (uint8_t *) "1", (uint8_t *) "1", NULL);

    for(size_t i = 0; i < gprs_cmd_num; i++)
        xQueueSend(sim_sync_set->at_queue, at_pckg[i], sim_sync_set->tics_delay);
}

/*
 * Get GPRS AT commands from queue to transmit them over UART
 *
 * @param sim_sync_set platform depended set
 */
static void task_get_sync_gprs(struct sim_sync *sim_sync_set) {
    if (NULL == sim_sync_set)
        return;

    uint16_t cmd_max_len = sim_sync_set->queue_size;
    uint8_t at_pckg[cmd_max_len];

```

```

        if(pdTRUE == xQueueReceive(sim_sync_set->at_queue, at_pckg,
sim_sync_set->tics_delay))
            at_exec(sim_sync_set, at_pckg);
    }

    /*
    * Provides FreeRtos HTTP queue filling
    * Inserts HTTP AT commands to queue
    *
    * @param sim_sync_set platform depended set
    */
    static void task_send_sync_http(struct sim_sync *sim_sync_set)
    {
        if (NULL == sim_sync_set)
            return;

        uint16_t cmd_max_len = sim_sync_set->queue_size;
        uint32_t gprs_cmd_num = 6;
        uint8_t at_pckg[cmd_max_len][gprs_cmd_num];

        at_set(at_pckg[0], (uint8_t *) "AT+HTTTPARA", (uint8_t *) "
CID\" ", (uint8_t *) "1", NULL);
        at_set(at_pckg[1], (uint8_t *) " URL\" ", (uint8_t
*) BOT_URL, " \\r", NULL);
        at_set(at_pckg[2], (uint8_t *) "AT+HTTTPARA", (uint8_t *) "
UA\" ", (uint8_t *) " G\" ", NULL);
        at_set(at_pckg[3], (uint8_t *) "AT+HTTTPARA", (uint8_t *) "
REDIR\" ", "1", NULL);
        at_set(at_pckg[4], (uint8_t *) "AT+HTTPSSL", (uint8_t *) "1",
NULL);
        at_set(at_pckg[5], (uint8_t *) "AT+HTTPACTION", (uint8_t
*) "0", NULL);

        for(size_t i = 0; i < gprs_cmd_num; i++)
            xQueueSend(sim_sync_set->at_queue, at_pckg[i],
sim_sync_set->tics_delay);
    }

    /*
    * Get HTTP AT commands from queue to transmit them over UART
    *
    * @param sim_sync_set platform depended set
    */
    static void task_get_sync_http(struct sim_sync *sim_sync_set)
    {
        if (NULL == sim_sync_set)
            return;

        uint32_t cmd_max_len = sim_sync_set->queue_size;
        uint8_t at_pckg[cmd_max_len];

```



```

        if(pdTRUE == xQueueReceive(sim_sync_set->at_queue, at_pckg,
sim_sync_set->tics_delay))
            at_exec(sim_sync_set, at_pckg);
    }

    /*
    * Provides FreeRtos close GPRS session queue filling
    * Inserts AT+HTTPTERM AT command to queue for closing session
    *
    * @param sim_sync_set platform depended set
    */
    static void task_send_close_session(struct sim_sync
*sim_sync_set)
    {
        if (NULL == sim_sync_set)
            return;

        uint16_t cmd_max_len = sim_sync_set->queue_size;
        uint8_t at_pckg[cmd_max_len];
        at_set(at_pckg, (uint8_t *)"AT+HTTPTERM", NULL);
        xQueueSend(sim_sync_set->at_queue, at_pckg, sim_sync_set-
>tics_delay);
    }

    /*
    * Get AT commands from queue to close GPRS session
    * Exec closing GPRS session
    *
    * @param sim_sync_set platform depended set
    */
    static void task_get_close_session(struct sim_sync *sim_sync_set)
    {
        if (NULL == sim_sync_set)
            return;

        uint32_t cmd_max_len = sim_sync_set->queue_size;
        uint8_t at_pckg[cmd_max_len];
        if(pdTRUE == xQueueReceive(sim_sync_set->at_queue, at_pckg,
sim_sync_set->tics_delay))
            at_exec(sim_sync_set, at_pckg);
    }

    /*
    * Sim module initialization
    * Init sim module methods
    * Create a main queue, determine queue delays
    *
    * @param sim_sync_set platform depended set
    */

```

```

void at_sim_init(HAL_atSim *sim_routine_set, UART_HandleTypeDef
*sim_uart, struct sim_sync *sim_sync_set)
{
    sim_sync_set->queue_size = sizeof(BOT_URL);
    uint16_t queue_size = sim_sync_set->queue_size;

    struct sim_sync *local_synced_uart = sim_sync_set;
    local_synced_uart->synced_sim_uart = sim_uart;
    /* FreeRtos queues is created inside init function */
    local_synced_uart->at_queue = xQueueCreate(queue_size,
sizeof (uint8_t *));
    sim_routine_set->platform_depended_synced_UART =
local_synced_uart;

    sim_routine_set->at_receive = &at_receive;
    sim_routine_set->at_set = &at_set;
    sim_routine_set->at_exec = &at_exec;

    sim_routine_set->at_task_send_sync_gprs =
&task_send_sync_gprs;
    sim_routine_set->at_task_get_close_session =
&task_get_sync_gprs;
    sim_routine_set->at_task_send_sync_http =
&task_send_sync_http;
    sim_routine_set->at_task_get_close_session =
&task_get_sync_http;
    sim_routine_set->at_task_send_close_session =
&task_send_close_session;
    sim_routine_set->at_task_get_close_session =
&task_get_close_session;

    /* Fill array of methods for easy GET query calling */
    sim_routine_set->at_getreq_func_arr[0] =
&task_send_sync_gprs;
    sim_routine_set->at_getreq_func_arr[1] =
&task_get_close_session;
    sim_routine_set->at_getreq_func_arr[2] =
&task_send_sync_http;
    sim_routine_set->at_getreq_func_arr[3] =
&task_get_close_session;
    sim_routine_set->at_getreq_func_arr[4] =
&task_send_close_session;
    sim_routine_set->at_getreq_func_arr[5] =
&task_get_close_session;
}

/*
 * Sequential method invocation for provide GET query
 *
 * @param sim_sync_set platform depended set

```

```

    */
void at_http_query(HAL_atSim *sim_routine_set)
{
    /* */
    uint32_t i = 0;
    while(*(sim_routine_set->at_getreq_func_arr[i++]));
}

```

Файл sim.h

```

#include <stdbool.h>
#include <stdint.h>
#include "stm32f1xx_hal.h"
#include "FreeRTOSConfig.h"
#include "FreeRTOS.h"
#include "queue.h"
#include "croutine.h"

#include "task.h"

#define BOT_URL "https://xinitydev.herokuapp.com/devapi/botecho/hello_sim8001\" "

/* A platform depended structure which should consist of
 * UART class
 * Queue class
 */
struct sim_sync {
    UART_HandleTypeDef *synced_sim_uart;
    HAL_StatusTypeDef (*transmit_uart_func)(UART_HandleTypeDef
*huart, uint8_t *pData, uint16_t size);
    HAL_StatusTypeDef (*receive_uart_func)(UART_HandleTypeDef
*huart, uint8_t *pData, uint16_t size);

    QueueHandle_t at_queue;
    uint16_t queue_size;
    TickType_t tics_delay;
};

/*
 * The main class of Sim module
 * Consist of system routines
 * and methods to work with GPRS, HTTP
 */
typedef struct sim {
    struct sim_sync *platform_depended_synced_UART;

    void (*at_task_send_sync_gprs)(struct sim_sync
*sim_sync_set);

```

```

        void      (*at_task_get_sync_gprs)(struct      sim_sync
*sim_sync_set);
        void      (*at_task_send_sync_http)(struct      sim_sync
*sim_sync_set);
        void      (*at_task_get_sync_http)(struct      sim_sync
*sim_sync_set);
        void      (*at_task_send_close_session)(struct      sim_sync
*sim_sync_set);
        void      (*at_task_get_close_session)(struct      sim_sync
*sim_sync_set);

        /* Consist a bunch of methods to provide GET query
        * To provide a GET query is necessary to call methods
        sequentially only
        */
        void      (*at_getreq_func_arr[6])(struct      sim_sync
*sim_sync_set);

        uint8_t   (*at_receive)(struct      sim_sync      *sim_sync_set,
uint8_t *cmd);
        uint16_t (*at_set)(uint8_t *at_query, uint8_t *cmd, uint8_t
*fmt, ...);
        bool      (*at_exec)(struct      sim_sync      *sim_sync_set,      uint8_t
*cmd);

    }HAL_atSim;

    void at_sim_init(HAL_atSim *sim_routine_set, UART_HandleTypeDef
*sim_uart, struct sim_sync *sim_sync_set);
    void at_http_query(HAL_atSim *sim_routine_set);

```

ДОДАТОК Д

Специфікація. Перелік елементів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК62.425549.001 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 134 |

| | | | |
|-----------------|--|-----------------|----------|
| Справ. № | | Перв. застосув. | |
| | | | |
| Поз. позначення | Найменування | Кіл. | Примітки |
| | | | |
| | Конденсатори | | |
| | | | |
| С1, С2 | Size С 10 В 10мкФ 20% YAG | 2 | |
| С3 | ECAP С 6.3 В 2200мкФ 20% SAMWHA | 1 | |
| С4 | С-0402 50 В 100н 10% X7R MUR | 1 | |
| С5 | Size С 10 В 1мкФ 20% YAG | 1 | |
| С6 | С-0402 50 В 100н 10% X7R MUR | 1 | |
| С7 | Size С 10 В 10мкФ 20% YAG | 1 | |
| С8 | С-0603 50 В 100нФ 10% X7R MUR | 1 | |
| | | | |
| | Мікросхеми | | |
| | | | |
| DA1 | MCP73811 Microchip | 1 | |
| DA2 | NCP5500DTADJRK6 ON semiconductor | 1 | |
| DD1 | SIM800L Core Board SimCom | 1 | |
| DD2 | STM32L010F4 ST microelectronic TSSOP20 | 1 | |
| | | | |
| | Стабілітрони | | |
| | | | |
| FV1 | BZV55-C3V3 NEX-NXP | 1 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

| | | | | | | | | |
|--------------|------------------|---------------|-------|------|------------------------------|--|---|-------|
| | | | | | | | | |
| | | | | | ДК62.425549.001 ПЕЗ | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата | | | | |
| Розроб. | О.В. Кужильний | | | | Модуль безпроводного зв'язку | | Літ. | Аркуш |
| Перев. | І.О. Адаменко | | | | | | 0 | 1 |
| Н.контр. | В.Г. Гудар | | | | | | КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФЕЛ, КЕОА, ДК-62 | |
| Затв. | А.Ю. Варфоломєєв | | | | | | | |
| | | | | | Перелік елементів | | | |
| Інв. № подл. | | Підп. та дата | | | Взам. інв. № | | Інв. № дудл. | |
| | | | | | | | Підп. та дата | |

| Поз. позначе ння | Найменування | Кіл. | Примітки |
|------------------------|---|------|----------|
| | | | |
| | <i>Батареї</i> | | |
| | | | |
| GB1 | 18650-keystone RADIOMAG | 1 | |
| | | | |
| | <i>Котушки індуктивності</i> | | |
| | | | |
| L1 | L-0603 8 мкГн 10% 200мА TDK Corporation | 1 | |
| | | | |
| | <i>Резистори</i> | | |
| | | | |
| R1 | R-0402 0.063 Вт 100 кОм 1% Yageo | 1 | |
| R2 | R-0402 0.063 Вт 100 кОм 1% Yageo | 1 | |
| R3, R4 | R-0402 0.063 Вт 220 кОм 1% Yageo | 2 | |
| R5-R7 | R-0402 0.063 Вт 100 кОм 1% Yageo | 3 | |
| R8, R9 | R-0402 0.063 Вт 22 Ом 1% Yageo | 2 | |
| R10-R12 | R-0402 0.063 Вт 100 кОм 1% Yageo | 3 | |
| R13 | R-0402 0.063 Вт 220 кОм 1% Yageo | 1 | |
| R14, R15 | R-0402 0.063 Вт 100 кОм 1% Yageo | 2 | |
| R16 | R-0402 0.063 Вт 220 кОм 1% Yageo | 1 | |
| R17 | R-0402 0.063 Вт 170 Ом 1% Yageo | 1 | |
| R18 | R-0402 0.063 Вт 100 кОм 1% Yageo | 1 | |
| R19 | R-0402 0.063 Вт 560 кОм 1% Yageo | 1 | |
| R20 | R-0402 0.063 Вт 100 кОм 1% Yageo | 1 | |
| | | | |
| | <i>Діоди</i> | | |
| | | | |
| VD1 | BAT54.215 NEX-NXP | 1 | |
| | | | |
| | | | |

| | | | | | | | |
|--------------|------|---------------|-------|--------------|---------------------|---------------|------|
| | | | | | ДК62.425549.001 ПЕЗ | | Арк. |
| | | | | | | | 2 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата | | | |
| Інв. № подл. | | Підп. та дата | | Взам. інв. № | Інв. № дудл. | Підп. та дата | |

| Справ. № | | | Перв. застосув. | | | |
|----------|------|---------|-----------------------|--|------|----------|
| Формат | Зона | Позиція | Позначення | Найменування | Кіл. | Примітки |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Документація</u> | | |
| | | | | | | |
| A4 | | | ДК62.4.2554.9.001 ПЕЗ | Модуль безпроводного зв'язку. Перелік елементів | 1 | |
| A3 | | | ДК62.4.2554.9.001 ЕЗ | Модуль безпроводного зв'язку. Схема електрична принципова | 1 | |
| A1 | | | ДК62.750706.001 СК | Плата. Складальне креслення | 1 | |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Деталі</u> | | |
| | | | | | | |
| A1 | 1 | | ДК62.758723.001 | Плата друкована | 1 | |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Інші вироби</u> | | |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Батареї</u> | | |
| | | 2 | | 18650-keystone RADIOMAG | 1 | FV1 |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Вилки</u> | | |
| | | 3 | | SWD connector Xinity | 1 | XP1 |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Діоди</u> | | |
| | | 4 | | BAT54.215 NEX-NXP | 1 | VD1 |
| | | | | | | |

| Формат | Зона | Позиція | Позначення | Найменування | Кіл. | Примітка |
|--------|------|---------|------------|----------------------------------|------|---|
| | | | | | | |
| | | | | <u>Конденсатори</u> | | |
| | | 5 | | Size C 10 B 1мкФ 20% YAG | 1 | C5 |
| | | 6 | | Size C 10 B 10мкФ 20% YAG | 4 | C1-C2, C7 |
| | | 7 | | ECAP C 10 B 2200мкФ 20% SAMWHA | 1 | C3 |
| | | 8 | | C-0402 50 B 100нФ 10% X7R MUR | 2 | C4, C6 |
| | | 9 | | C-0603 50 B 100нФ 10% X7R MUR | 1 | C8 |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Котушки індуктивності</u> | | |
| | | 10 | | L-0603 8 мкГн 10% 200 мА TDK | 1 | L1 |
| | | | | Corporation | | |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Мікросхеми</u> | | |
| | | 11 | | MCP73811 Microchip | 1 | DA1 |
| | | 12 | | NCP5500DTADJRKG | 1 | DA2 |
| | | | | ON semiconductor | | |
| | | 13 | | SIM800L Core Board SimCom | 1 | DD1 |
| | | 14 | | STM32L010F4 ST microelectronicis | 1 | DD2 |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Резистори</u> | | |
| | | 15 | | R-0402 0.063 Вт 22 Ом 1% Yageo | 4 | R3, R4 R8, R9 |
| | | | | | | |
| | | 16 | | R-0402 0.063 Вт 170 Ом 1% Yageo | 1 | R17 |
| | | 17 | | R-0402 0.063 Вт 100 кОм 1% Yageo | 12 | R1, R2, R5-R7, R10-R12, R14-R15, R18, R20 |
| | | | | | | |

| | | | | | | | |
|--------------|------|---------------|-------|--------------|--------------------|---------------|------|
| | | | | | ДК62.750706.001 СП | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата | | | 2 |
| Інв. № подл. | | Підп. та дата | | Взам. інв. № | | Інв. № дудл. | |
| | | | | | | Підп. та дата | |

| | | | |
|-----------------|----------------------------------|-----------------|----------|
| Справ. № | | Перв. застосув. | |
| | | | |
| Поз. позначення | Найменування | Кіл. | Примітки |
| | | | |
| | Теплові датчики | | |
| | | | |
| BK1 | RD-624 Winsan | 1 | |
| | | | |
| | Конденсатори | | |
| | | | |
| C1 | C-0603 50 В 22мкФ 10% X7R YAG | 1 | |
| C2 | Size D 10 В 100мкФ 20% YAG | 1 | |
| C3 | C-0603 50 В 22нФ 10% X7R YAG | 1 | |
| C4 | C-0603 50 В 22мкФ 10% X7R YAG | 1 | |
| C5 | C-0603 50 В 100нФ 10% X7R YAG | 1 | |
| C6 | C-0603 50 В 22нФ 10% X7R YAG | 1 | |
| | | | |
| | Мікросхеми | | |
| | | | |
| DA1, DA2 | TLV522 Ti | 2 | |
| | | | |
| | Резистори | | |
| | | | |
| R1 | R-0603 0.125 Вт 680 кОм 5% Yageo | 1 | |
| R2 | R-0603 0.125 Вт 13 кОм 5% Yageo | 1 | |
| R3 | R-0603 0.125 Вт 1.3 кОм 5% Yageo | 1 | |
| | | | |

| | | | | | | | | |
|--------------|------------------|---------------|-------|------|--------------------------|--|---|-------|
| | | | | | | | | |
| | | | | | ДК62.402214.001 ПЕЗ | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата | | | | |
| Розраб. | О.В. Кужильний | | | | Модуль детектування руху | | Літ. | Аркуш |
| Перев. | І.О. Адаменко | | | | | | 0 | 1 |
| Н.контр. | В.Г. Гудар | | | | | | КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФЕЛ, КЕОА, ДК-62 | |
| Затв. | А.Ю. Варфоломєєв | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| Інв. № подл. | | Підп. та дата | | | Взам. інв. № | | Інв. № дудл. | |
| | | | | | | | Підп. та дата | |

| Справ. № | | | Перв. застосув. | | | |
|----------|------|---------|---------------------|--|------|----------|
| | | | | | | |
| Формат | Зона | Позиція | Позначення | Найменування | Кіл. | Примітки |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Документація</u> | | |
| | | | | | | |
| A4 | | | ДК62.402214.001 ПЕЗ | Модуль детектування руху. Перелік елементів | 1 | |
| A3 | | | ДК62.402214.001 ЕЗ | Модуль детектування руху. Схема електрична принципова | 1 | |
| A1 | | | ДК61с.750706.002 СК | Плата. Складальне креслення | 1 | |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Деталі</u> | | |
| | | | | | | |
| A1 | 1 | | ДК62.758723.002 | Плата друкована | 1 | |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Інші вироби</u> | | |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Діоди</u> | | |
| | 2 | | | BAV99 | 1 | VD1 |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Конденсатори</u> | | |
| | 3 | | | С-0603 50 В 22нФ 10% X7R YAG | 2 | С3, С6 |
| | 4 | | | С-0603 50 В 100нФ 10% X7R YAG | 1 | С5 |
| | 5 | | | С-0603 50 В 22мкФ 10% X7R | 2 | С1, С4 |
| | 6 | | | Size D 50 В 100мкФ 20% YAG | 1 | С2 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|--------------|------|------------------|-------|------|--|--|---------------|---------|---|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | ДК62.750706.002 СП | | | | |
| | | | | | Плата. Специфікація | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата | | | | | |
| Розроб. | | О.В. Кужильний | | | | | | | |
| Перев. | | І.О. Адаменко | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Н.контр. | | В.Г. Гудар | | | Літ. | | Аркуш | Аркушів | |
| Затв. | | А.Ю. Варфоломєєв | | | | | 0 | 1 | 2 |
| | | | | | КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФЕЛ, КЕОА | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Інв. № подл. | | Підп. та дата | | | Взам. інв. № | | Інв. № дудл. | | |
| | | | | | | | Підп. та дата | | |

| Формат | Зона | Позиція | Позначення | Найменування | Кіл. | Примітка |
|--------|------|---------|------------|-----------------------------|------|------------|
| | | | | | | |
| | | | | <u>Мікросхеми</u> | | |
| | | 7 | | TLV522 Ti | 2 | DA1, DA2 |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Резистори</u> | | |
| | | 8 | | R-0603 0.125 Вт 13 кОм 5% | 1 | R3 |
| | | | | Yageo | | |
| | | 9 | | R-0603 0.125 Вт 13 кОм 5% | 2 | R2, R5 |
| | | | | Yageo | | |
| | | 10 | | R-0603 0.125 Вт 680 кОм 5% | 3 | R1, R4, R6 |
| | | | | Yageo | | |
| | | 11 | | R-0603 0.125 Вт 10 МОм 5% | 4 | R7-R10 |
| | | | | Yageo | | |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Розетки</u> | | |
| | | 12 | | 1981568-1 TE connectivity | 1 | XS1 |
| | | 13 | | BH-6 JST Sales America Inc. | 1 | XS2 |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Теплові датчики</u> | | |
| | | 14 | | RD-624 Winson | 1 | BK1 |
| | | | | | | |
| | | | | <u>Матеріали</u> | | |
| | | 15 | | Паяльна паста ELP | 5г | |
| | | 16 | | Припой LC60 | 3г | |
| | | 17 | | Флюс F-2000 | 10г | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

| | | | | | | | |
|--------------|------|---------------|-------|--------------|--------------------|---------------|------|
| | | | | | ДК62.750706.002 СП | | Арк. |
| | | | | | | | 2 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата | | | |
| Інв. № подл. | | Підп. та дата | | Взам. інв. № | Інв. № дудл. | Підп. та дата | |